أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول



الأسس
التكنولوجية

أساسيات الهندسة الكهربائية

مؤسسة الأهرام بالقاهرة
المؤسسة الشعبية للتأليف بليبزج



Edition Leipzig and Al-Ahram Cairo

الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول

تأليف: هاينتزجراف

ترجمة: المهندس إدوار يوسف قاضى

المهندس أمين قاسم سليم

c) Edition Leipzig, German Democratic Republic
Arabian Edition by Al-Ahram Cairo

Printed by AL-AHRAM, CAIRO

هذا الكتاب هو الترجمة الكاملة لكتاب

ELECTRICAL ENGINEERING FUNDAMENTALS

من سلسلة : **TECHNICAL FUNDAMENTALS**

تصــدير

هذه السلسلة – الأسس التكنولوجية – ثمرة تعاون وثيق هادف بين دارين من أكبر دور النشر العالمية ، إحداهما دار النشر فى لايبزج Edition Leipzig ، والثانية مؤسسة الأهرام .

وقد تضافرت جهود الدارين على تحقيق النشر العربى لهذه السلسلة الرفيعة التى لقيت كتبها المنشورة بالإنجليزية والفرنسية والأسبانية إقبالا منقطع النظير . ولا عجب أن تنتقى مؤسسة الأهرام هذه السلسلة بالذات لتكون طليعة نشاطها فى مجال النشر العلمى والتكنولوجى .

فالمتصفح لأى كتاب من كتب السلسلة ، أو المستعرض لعناوين الكتب التى صدرت منها حتى الآن ، يجد أن التخطيط لهذه السلسلة يقوم على تبصر عميق باحتياجات الطبقة العريضة من الملاحظين والفنيين الذين يمثلون عصب الإنتاج الصناعى وقوته الكامنة الحقيقية – لذلك فإن دار النشر فى لايبزج قد عهدت إلى أعلام التأليف التكنولوجى فى جمهورية ألمانيا الديموقراطية بتصنيف كتب هذه السلسلة ، كما عهدت مؤسسة الأهرام إلى خيرة المهندسين ورجال العلم ممن لهم نشاط واسع فى مجال الترجمة الفنية للقيام بهذه المهمة .

وواقع الأمر أن فائدة هذه السلسلة غير مقصورة على الملاحظين والفنيين فحسب – بل هى بالغة الأهمية أيضاً للمهندسين الذين يبتغون توسيع آفاق خبراتهم بالاطلاع على التخصصات الأخرى ، ولغير الفنيين الذين يريدون أن تتكامل معلوماتهم فى مختلف المجالات التكنولوجية .

أنور محمود عبد الواحد

مقـــدمة

كان التصدى للحقائق والمفاهيم والظواهر الخاصة بتكنولوجيا الكهرباء ، يعتبر من المجازفات الكبيرة فى صدد تقدم الهندسة الكهربائية خلال السنوات العشر الماضية . والمؤلف على يقين كامل بأن وضع كتاب فى أسس الهندسة الكهربائية ، يتناول فقط أهم المفاهيم الأساسية ، والجوانب الضرورية لهذا العلم سوف لا يجعله من النوع الجامع المانع .

وقد تم وضع هذا الكتاب بطريقة تجعل القارئ يلم بالقوانين الأساسية والقواعد المستخلصة من الظواهر الفيزيقية الكهربائية والظواهر الكهربائية التكنولوجية . وقد صيغت عبارات الكتاب بلغة سهلة مبسطة وأسلوب ممتع جذاب . هذا فضلا عن أنه يتيح للقارئ فرصة التعمق فى الفروع الأساسية لتكنولوجيا الكهرباء .

أما بالنسبة للصيغ الرياضية المصاحبة لشتى الموضوعات التى تناولها هذا الكتاب ، فقد روعى أن تكون من النوع المبسط نسبيا ، وذلك حتى يصبح بمقدور القارئ القليل الإلمام بالرياضة ، تفهم العلاقات المختلفة التى تعرضنا إليها فى هذا الكتاب .

وقد ارتأى الناشر تمشيا مع الهدف من إصدار سلسلة « الأسس التكنولوجية » ، أنه من النافع تماما إصدار كتاب فى أسس الهندسة الكهربائية فى جزءين ، يشتمل كل منهما على قسمين رئيسيين . يتناول الجزء الأول « أسس الفيزياء التكنولوجية » . و « تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية » . ويشتمل الجزء الثانى على « الأبواب الخاصة بهندسة القوى الكهربائية والأساليب الفنية لإعداد البيانات الكهربائية » ، وهذا التقسيم يبدو معقولا تماما ، لأنه يتمشى مع الاتجاهات الحديثة فى عرض الموضوعات الخاصة بالهندسة الكهربائية .

وقد أعد هذا الكتاب ليكون بمثابة مرجع تفصيلى للقواعد العلمية لتكنولوجيا الكهرباء ، فهو يحدد الجوانب الأساسية لفروع هذا العلم . ويتضح من ذلك أنه لا يمكن التعويل على هذا الكتاب لتدريب العاملين فى فرع معين من الهندسة الكهربائية ، بل هو موجه أساسا لخدمة القراء الذين يرغبون فى الحصول على فكرة عامة عن تكنولوجيا الكهرباء ، فضلا عن مدهم بمعلومات تتعلق بموضوعات خاصة . وسوف يعين هذا الكتاب كذلك على تفهم المسائل الأكثر تقدما فى هذا العلم بسهولة ويسر .

المحتويات

صفحة

القسم الأول : الأساسيات الفزيائية الفنية

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

القسم الثانى : تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية

صفحة

القسم الأول

الأساسيات الفنية الفيزيائية

الفصل الأول

تأثيرات التيار الكهربائى

يصحب التيار الكهربائى عدة تأثيرات ملحوظة (ظواهر) ويمكن تمييزها بما يلى :

١/١ – تأثير حرارى .

٢/١ – تأثير ضوئى .

٣/١ – تأثير مغنطيسى

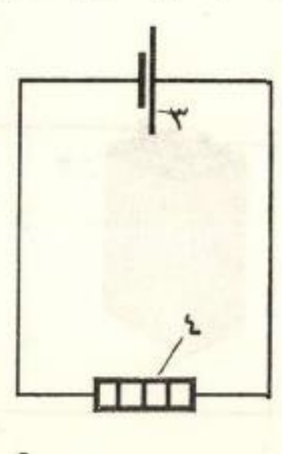
٤/١ – تأثير كيميائى .

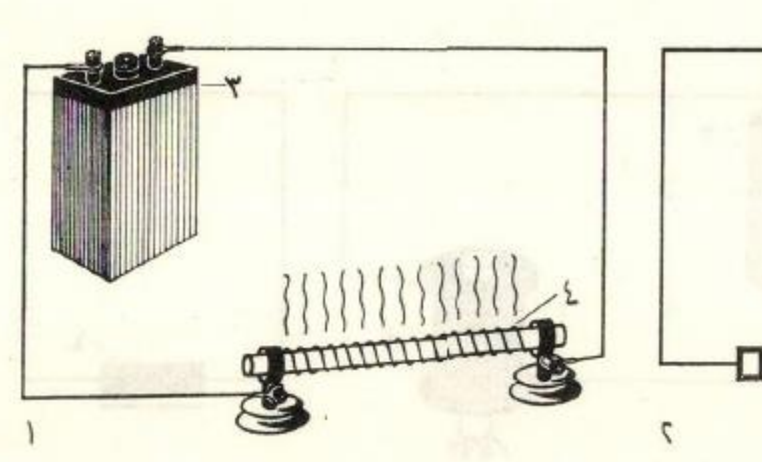
٥/١ – تأثير فسيولوجى .

ويستخدم الفزيائيون هذا التأثير الأخير لأغراض العلاج الطبى الكهربائى المتعدد الوجوه . وعند التعامل بالتيار الكهربائى ، تلاحظ تدابير أمان واشتراطات متعددة ، تراعى عند البحث عن دواء باستخدام التأثير الفسيولوجى للتيار الكهربائى .

١/١ – التأثير الحرارى للتيار الكهربائى :

يوضح الشكل (١) التأثير الحرارى للتيار الكهربائى على موصل يسرى فيه هذا التيار . يسخن التيار الكهربائى ذو الشدة الكافية هذا الموصل ، فيشع حرارة للأوساط المحيطة به . وتستخدم أسلاك تسخين من مادة مقاومة ، (وسيناقش هذا بمزيد من التفصيل فى الفصل السادس) ، إذا استخدمت الحرارة الناتجة عن التيار الكهربائى فى الأغراض الصناعية والأجهزة المنزلية وغيرها .





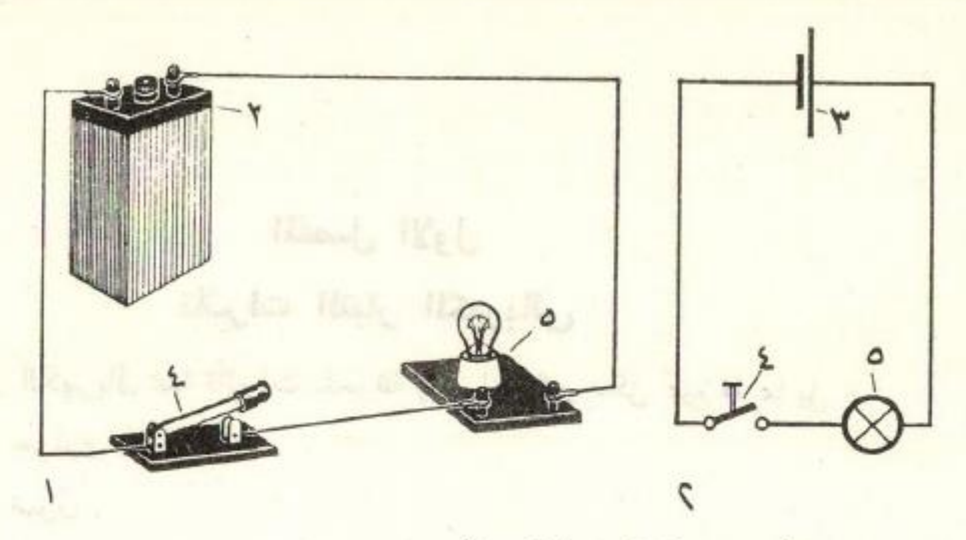
شكل ١ : التأثير الحرارى للتيار الكهربائى .

١ – تمثيل تخطيطى للتأثير الحرارى .

٢ – رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .

٣ – مصدر الجهد (تستخدم بطارية فى هذه الحالة) .

٤ – مسخن كهربائى .



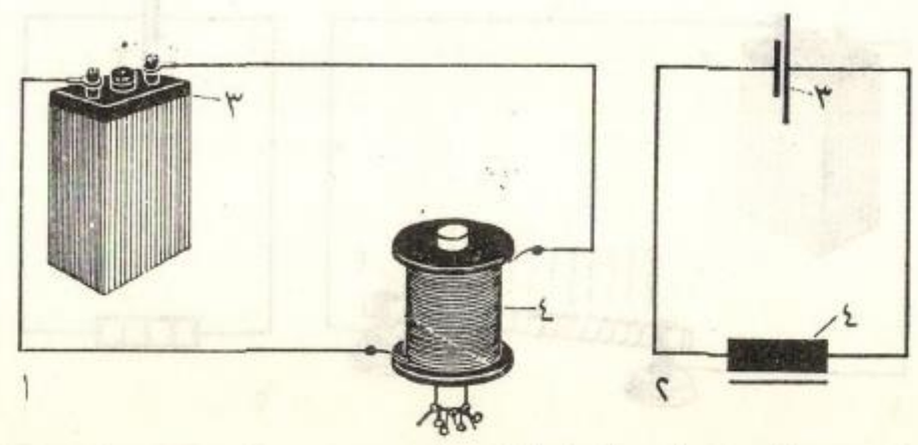
شكل ٢ : التأثير الضوئى للتيار الكهربائى .

١ – تمثيل تخطيطى للتيار الكهربائى .
٢ – رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .
٣ – مصدر الجهد .
٤ – مفتاح كهربائى .
٥ – مصباح كهربائى .

٢/١ – التأثير الضوئى للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٢) التأثير الضوئى للتيار الكهربائى . يؤدى مرور التيار الكهربائى ذى الشدة الكافية ، خلال فتيل التسخين لمصباح كهربائى ، إلى تسخين هذا الفتيل لدرجة التوهج ، فيشع ضوء أبيض .

ويوضح المثال السابق هذا النوع من التأثير الضوئى للتيار الكهربائى ، الذى ينتج بواسطة المرحلة المتوسطة للتأثير الحرارى للتيار الكهربائى .



شكل ٣ التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى .

١ – تمثيل تخطيطى للتأثير المغنطيسى .
٢ – رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .
٣ – مصدر الجهد .
٤ – مغنطيس الرفع الكهربائى .

وينتج تأثير ضوئى آخر فى مصابيح التفريغ (مصابيح تفريغ هوائية ، مصابيح أو أنابيب فلورية) ، وسوف يرد شرح هذا الموضوع فى الجزء الثانى بالفصل الرابع .

١/٣ – التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى :

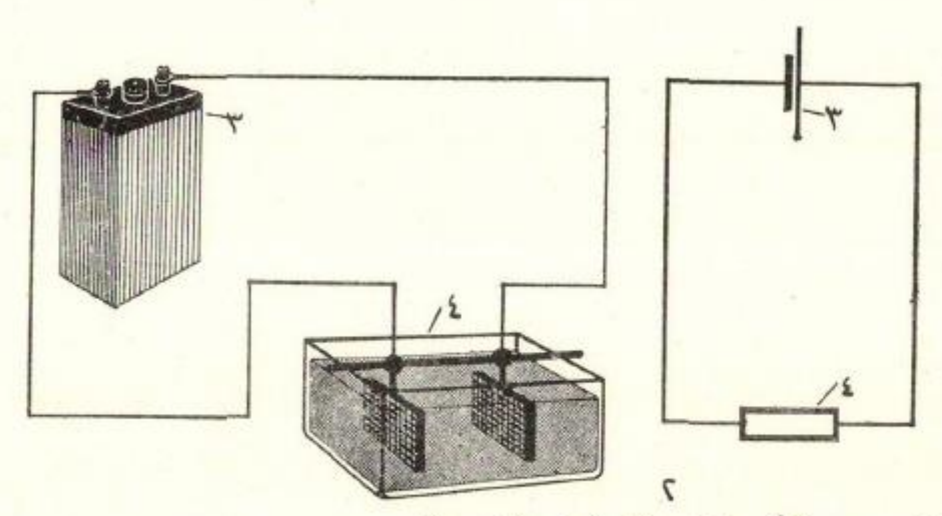
يبين الشكل (٣) التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى ، فينتج عن مرور التيار الكهربائى ذى الشدة الكافية ، عبر موصل ، مجال مغنطيسى حول هذا الموصل . فى الشكل (٣) يكون الموصل على هيئة ملف يتكون من عدة لفات . ولزيادة شدة التأثير المغنطيسى ، يولج قلب حديدى داخل الملف . وعلى سبيل المثال لا الحصر ، يكون مغنطيس لرفع الكهربائى ، عبارة عن تصميم لمثل هذا الملف يستخدم تجاريا .

١/٤ – التأثير الكيميائى للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٤) التأثير الكيميائى للتيار الكهربائى . فيعرض مرور التيار الكهربائى ذى الشدة الكافية عبر السائل الموصل الكهربائى (ماء مستحمض) ، إلى تغييرات جوهرية . وعلى سبيل المثال ، يمكن تحليل الماء إلى مكوناته (هيدروجين وأكسيجين) ، وذلك بإمرار التيار الكهربائى .

١/٥ – التأثيرات التنشيطية للتيار الكهربائى :

للتيار الكهربائى قدرة على التشغيل ، وتسمى هذه القدرة « الطاقة » ويطلق عليها كذلك « الطاقة الكهربائية » نسبة إلى التيار الكهربائى . ويمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة : طاقة حرارية أو طاقة ضوئية أو طاقة كيميائية ، علاوة على إمكان تحويلها إلى طاقة ميكانيكية .



شكل ٤ : التأثير الكيميائى للتيار الكهربائى .

١ – تمثيل تخطيطى للتأثير الكيميائى .
٢ – رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .
٣ – مصدر الجهد .
٤ – حوض إلكتروليتى .

ويمكن بواسطة الطاقة الكهربائية مثلا ، إحداث عزم لى على عمود إدارة محرك كهربائى مستخدم فى إدارة مكنات التشغيل الصناعية ، ويتضح من ذلك تأثيرات التيار الكهربائى فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . وتؤدى تحويلات الطاقة دورا هاما فى جميع المجالات الهندسية والتكنولوجية . وتظهر البحوث التى تنتج عنها فى قانون بقاء الطاقة ، أنه فى مضمار تحويل الطاقة : تبقى الطاقة الإجمالية ثابتة ، فبينما تختفى الطاقة من أحد أشكالها ، تظهر فى شكل آخر : وبمعنى آخر « فإن الطاقة لا تستحدث ولا تفنى » .

الفصل الثانى

ما هى الكهرباء

حاول الإنسان كثيرا أن يستكشف هذا الكون الذى يعيش فيه . ولقد بذل مجهودات كثيرة ، وسوف يستمر فى بذل هـذه المجهودات للدراسة والوصول إلى معنى الظواهر فى العالم المحيط به . وعليه ، بحث الإنسان فى طبيعة الكهرباء وأصبح يدرك تمام الإدراك مفهوم التيار الكهربائى كجوهر كهربائى ، حتى أصبح هذا المعنى معروفا وواضحا له بدرجة كبيرة . وباستخدام النماذج كطرق عملية ، أمكن معرفة كل ما يتعلق بالكهرباء ، وعلى الأخص عند تفسير الظواهر التى تنقصها المشاهدات المباشرة .

ونبدأ هنا بالحقيقة التالية : تعتمد جميع الظواهر الكهربائية على جزيئات متناهية فى الصغر تحمل أصغر كميات من الشحنات الكهربائية أو الكهرباء،ويطلق على هذه الجزيئات المتناهية فى الصغر « إلكترونات » .

ولتفسير ما هو « الإلكترون » يجب الإلمام التام بالمعرفة التى أدت إلى وضع « النظرية الذرية المتكاملة ».فمثلا ، عند تحليل أى مادة فى المعمل نحصل على مواد لا يمكن الحصول بعد ذلك على غيرها ، وتسمى « العناصر » .

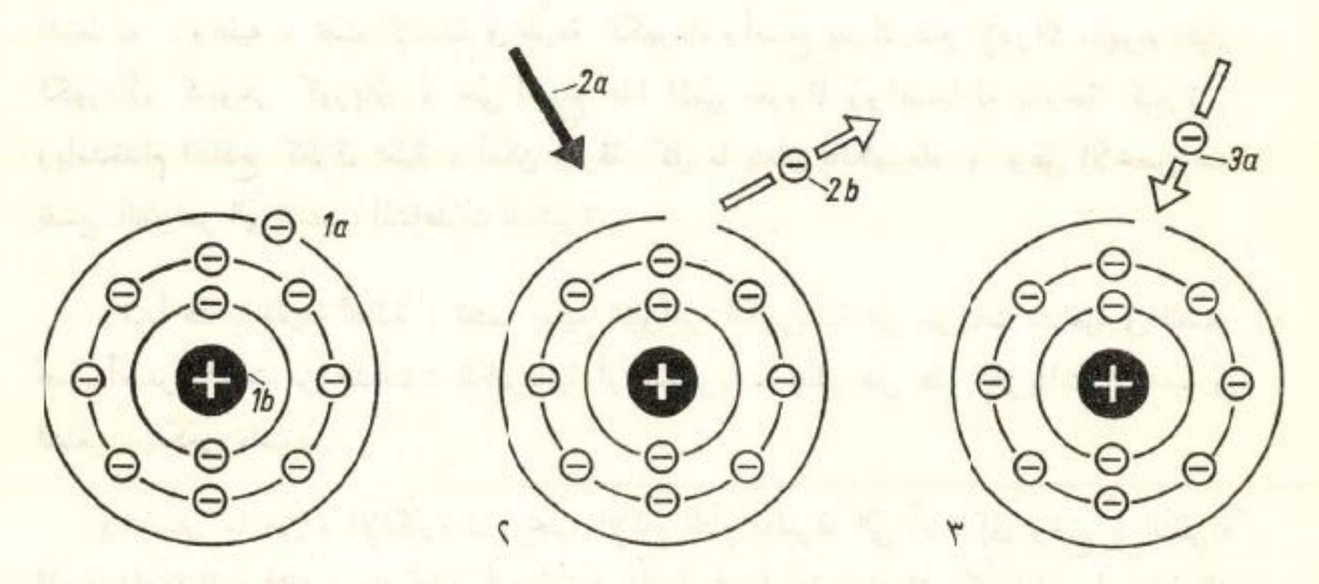
وبالمقارنة مع العدد الكبير من المواد والمركبات التى وجدت فى الطبيعة ، فإن عدد العناصر التى تم تعيينها ما زال صغيرا ، حيث أصبح حوالى المائة فقط .

ويتكون كل عنصر من عدة جزيئات من نفس النوع ، يطلق عليها « ذرات » . ويسمى أصغر جزء من العنصر له نفس خواص العنصر ، (مثـل الرائحة والقوة والموصلية الكهربائية والموصلية الحرارية) « الذرة » . وعلى هذا فإن أصغر جزء من قطعة من عنصر النحاس هى « ذرة النحاس » . وكان يقصد بالذرة سابقا ، الشئ غير القابل للانقسام . هذه فكرة قديمة حيث كان يعتقد من قبل أن الذرة لا يمكن تقسيمها (لا انشطارية) . غير أنه أمكن شطر الذرة ، وقد بنى إنتاج الطاقة النووية على شطر هذه الذرات .

ويبين الشكل (٥ – ١) نموذجا لذرة . ويساعد هذا النموذج الأساسى فى تفسير ظواهر طبيعية كثيرة : الكهربائية منها ، وغير الكهربائية .

وتتكون الذرة من « نواة ذرية » وإلكترون أو أكثر ، يدور حول النواة فى ممرات يطلق عليها « مدارات » . وهذا يعنى أن الإلكترونات تدور على مسافات معينة من هذه النواة .

وتشبه الذرة فى تكوينها المجموعة الشمسية . ويمكن اعتبار النواة الذرية كأنها الشمس ، والإلكترونات التى تدور حول النواة كأنها الكواكب السيارة فى المجموعة الشمسية . وبنفس الطريقة ، فكما توجد قوى بين الكواكب والشمس تجعل المجموعة الشمسية فى حالة استقرار ، توجد كذلك قوى بين النواة الذرية والإلكترونات ، تجعل الذرة فى حالة استقرار .



شكل ٥ : ذرة متعادلة ، انفصال الشحنات وتوازنها .

١ – ذرة صوديوم متعادلة . **٢ – a التأثير على الذرة .**

a – إلكترون بشحنة سالبة . **b – إزاحة الإلكترون عن المدار الخارجى .**

b – نواة ذرية بشحنة موجبة . **٣ – توازن الشحنات .**

٢ – انفصال الشحنات . **a – إلكترن فى نطاق قوى التجاذب الكهربائية .**

تظهر الذرة كأنها فى حالة تعادل إذا لم تتعرض لمؤثر خارجى بأى وسيلة ، بمعنى أن أصغر كميات من الشحنات الكهربائية التى تحملها الإلكترونات المحيطة بالنواة ، تعادل فى مجموعها الشحنة المضادة التى تحملها النواة الذرية . وتوجد بين هذه الشحنات الكهربائية ذات الخاصية المضادة ، قوى تجاذب تجعل الذرة فى حالة تعادل . وللتمييز بين هذين النوعين من الشحنات الكهربائية أو كميات الكهرباء ، تعلم الشحنات التى تحملها الإلكترونات بالعلامة السالبة (–) ، وبمعنى آخر يطلق على الإلكترونات أنها سالبة كهربائيا . وتعلم شحنات النواة الذرية بالعلامة الموجبة (+) ، وبمعنى آخر يطلق على النواة الذرية أنها موجبة كهربائيا .

إذا تعرضت ذرة (أو عدة ذرات) لمؤثرات خارجية (لفعل ميكانيكى أو كيميائى ، مثلا) ، فإن شرط التعادل فى الذرة يتغير ، وكنتيجة لذلك ، تتحرك الإلكترونات ذات الشحنة السالبة . وإذا مرت هذه الإلكترونات عبر نظام مناسب ، يمكن ملاحظة تأثيرات التيار الكهربائى السابق وضعها .

ويطلق على الفعل الواقع على ذرة بالمفهوم المبين أعلاه « انفصال الشحنة » .ويحدث انفصال الشحنة هذا فى مصدر كهربائى (مركم – دينامو – مولد) .

ويحدث خلل فى توازن قوى التجاذب الكهربائية فى الذرة أثناء انفصال الشحنات . ويطلق على العملية العكسية لانفصال الشحنات « توازن الشحنات » .

وعندما يقترب أن إلكترون بشكل كاف من ذرة فى حالة تخلخل نتيجة لانفصال الشحنة ، تحدث قوى التجاذب الكهربائية تأثيرا يجعل هذا الإلكترون يتحرك فى مدار معين حول النواة ، حتى تبدو الذرة كأنها فى حالة توازن . ويبين الشكل (٥) توضيحا لهذه التفسيرات بواسطة نموذج لذرة فلز الصوديوم .

الفصل الثالث

الشحنات الكهربائية

١/٣ – الشحنات الكهربائية الثابتة :

يميز عادة بين الشحنات الكهربائية الثابتة والشحنات الكهربائية المتحركة . والشحنات الكهربائية الثابتة وظواهرها ، هى موضوع دراسة الكهرباء الأستاتيكية . وقد أصبح اليوم هذا الفرع من الدراسة أقل أهمية من ذلك الخاص بدراسة الشحنات المتحركة . وعلى كل ، فإن مناقشة الظواهر الأساسية للكهرباء الأستاتيكية ، إلى جانب بضع ملاحظات تتعلق بتاريخ هذا الفرع من الدراسة ، سيساعد على تفهم جوهر الهندسة الكهربائية .

(ا) نبذة تاريخية عن ظواهر الشحنات الكهربائية :

لاحظ تيلز (**Thales**) ، الفيلسوف وعالم الرياضيات اليونانى ، منذ حوالى ٢٥٠٠ عام أنه عند دلك قطعة من الكهرمان بقطعة من الصوف ، نجد أن قطعة الكهرمان تجذب قطع الورق الصغيرة ، وذلك يعنى أن الكهرمان الذى أطلق عليه اليونان اسم الكهرب (**elektron**) يمكن شحنه كهربائياً . ومع ذلك فقد مضى على هذه الظاهرة حوالى ٢٠٠٠ عام دون أن تلقى أى اهتمام . ومن حوالى ١٦٠٠ عام أجرى عالم الطبيعيات الإنجليزى جلبرت (**Gilbert**) أبحاثاً فى الظواهر الأساسية للقوى الكهربائية التى يطلق عليها باللاتينية (**Vis electrica**) . وقد حاول جلبرت ضمن أعماله الأخرى البحث عن المواد التى يمكن شحنها كهربائياً ، حتى توصل إلى النتيجة التالية : « يعتبر الزجاج وشمع الختم والكبريت من المواد القابلة للتكهرب ، على حين تعتبر المعادن غير قابلة للتكهرب » .

وبعد ذلك بحوالى ١٢٥ عام أثبت جراى (**Gray**) ، زميل جلبرت فى الموطن ، أن ما ذكره جلبرت عن عدم قابلية المعادن للتكهرب غير صحيح .

وفى ألمانيا بمدينة جوريك عاصمة مجد برج ابتكر أوتو (**Otto**) جهازاً استاتيكياً كهربائياً استخدم فيه كرة من الكبريت تدلك باليد .

وقد تم التعرف على أول نص يقارن بين الإضاءة والشرارة الكهربائية ، كتبه وال (**Wall**) فى عام ١٧٠٨ . وفى منتصف القرن الثامن عشر تقريباً شرح العالم الفرنسى دوفى (**Dufay**) التصرف المختلف للمواد المتباينة بالنسبة لشحناتها الكهربائية . واستخدم بعد ذلك المصطلحان موجب (+) وسالب (–) كهربائياً . وأجريت تجارب فيزيقية كهربائية فى مدينة ليدن (**Lyden**)

بهولندا ، نتج عنهـا اختراع المواسع (المكثف الكهربائى) . وكان أول مواسع نتيجة لتطوير زجاجة دواء ، وسمى « زجاجة ليدن » .

ويقال ان بنيامين فرانكلين الأمريكى بنى أول مانعة صواعق فى عام ١٧٥٢ .

وكانت أعمال كولوم (Coulomb) رائدة فى مجال الشحنات الكهربائية . ولقد بدأ اختباراته فى حوالى عام ١٧٨٥ باستخدام ميزان التواء ، يعرف أيضاً باسم « ميزان كولوم » . وبعد نجاح كولوم فى قياس القوى المصاحبة للشحنات الكهربائية ، أعلن عن قانونه الخاص بإنتشار الشحنات الكهربائية .

وبعد ذلك ، أجرى فاراداى (Faraday) العالم الشهير ، أبحاثاً لمعرفة كيفية توزيع الشحنات الكهربائية على الأجسام .

(ب) تمثيل الشحنات الكهربائية :

التمثيل باستخدام قضيب من الزجاج وقضيب المطاط الصلد :

عند دلك قضيب من الزجاج بقطعة من الجلد ، أو قضيب من المطاط الصلد بخرقة من الصوف ، كما فى الشكل (٦) فإن هذين القضيبين يجذبان قصاصات الورق الصغيرة كما فى الشكل (٧) .

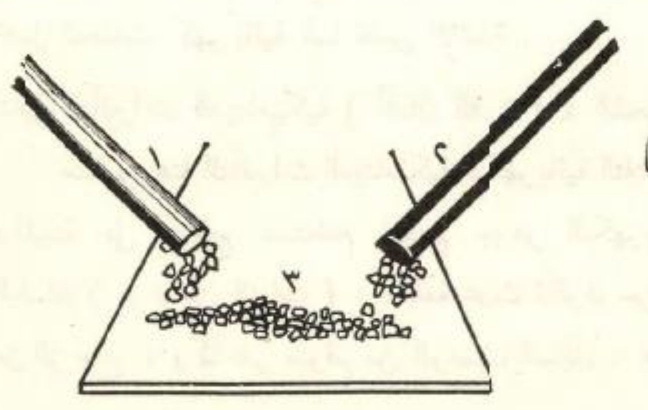




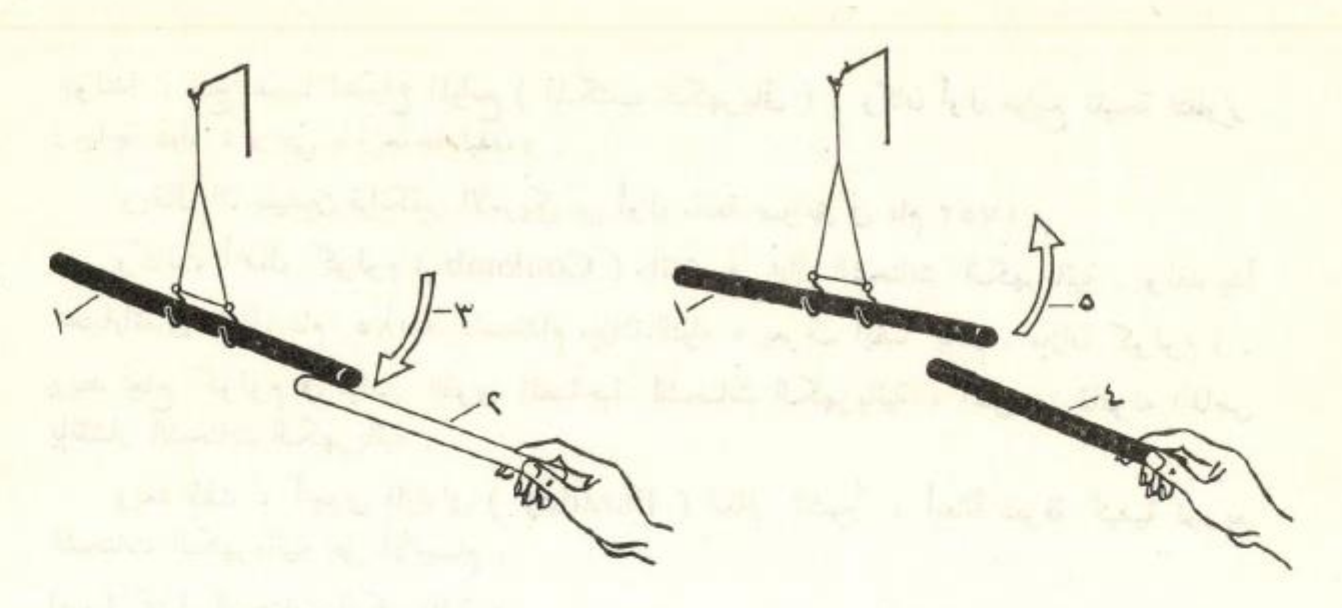
شكل ٦ : قضيب من الزجاج وآخر من المطاط الصلد معدان لانفصال الشحنة .
١ – قضيب من الزجاج . **٣ – قضيب من المطاط الصلد .**
٢ – قطعة من الزجاج . **٤ – خرقة من صوف .**

يتضح أن الفعل الميكانيكى (الدلك) قد سبب انعدام التعدل الكهربائى ، وكما هو واضح أيضاً فقد حدثت قوى تجاذب لقصاصات الورق .

وقد أطلق قديماً على ظاهرة الشحنات الكهربائية الناتجه بهذه الطريقة مصطلح « كهربائية الإحتكاك » ، واليوم أصبح معروفاً أن التلامس الجيد لقضيب من الزجاج مع الجلد يكفى للحصول على فعل القوة الكهربائية ، كما هو مبين فى الشكل (٧) . وعلى ذلك تكون التسمية « كهربائية التلامس » . أكثر دقة من تسمية « كهربائية الدلك » .



شكل ٧ : القوى الناتجة عن دلك قضيبين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلد .
١ – قضيب زجاج .
٢ – قضيب مطاط صلد .
٣ – قطع صغيرة من الورق .



شكل ٨ : يوضح الشكل تصرف قضيبين مدلوكين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلد تجاه كل منهما للآخر .

١ – قضيب من المطاط الصلد معلق حر الحركة . **٤ – قضيب مطاط صلد .**
٢ – قضيب زجاج . **٥ – تنافر (قوة – فعل) .**
٣ – تجاذب (قوة – فعل) .

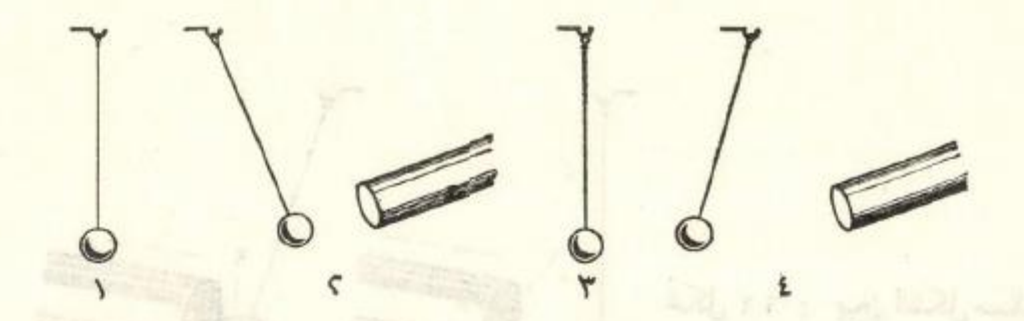
بعد أن وصفنا فعل قضبان الزجاج والمطاط الصلد المدلوكة على قصاصات الورق ، نبين هنا فعل كل منهما على الآخر . ويبين الشكل (٨) ترتيبة لقضيب من المطاط الصلد المدلوك ، معلق بحيث يكون حر الدوران . وإذا دلك قضيب من الزجاج وقرب من قضيب المطاط ، نجد أن الأخير يدور تجاه قضيب الزجاج ، وهذا يعنى أنه انجذب له . وعند تقريب قضيب آخر من المطاط الصلد المدلوك إلى قضيب المطاط المعلق ، نجد أن القضيب المعلق يدور بعيداً عن القضيب الآخر، وهذا يعنى أنه تنافر بعيداً عنه .

ونستخلص من مناقشاتنا السابقة لكهربائية التلامس وجود نوعين من الشحنات لهما تأثيران ديناميكيان ، أحدهما تجاذبى والآخر تنافرى . وبالتالى أمكن الوصول إلى الآتى : « يحمل قضيب الزجاج المدلوك شحنات موجبة (+) ، بينما يحمل القضيب المدلوك من المطاط الصلد شحنات سالبة (–) » وبهذا التصنيف أمكن صياغة قانون أستاتيكى كهربائى لفعل القوة كما يلى :

تتجاذب الأجسام التى تحمل شحنات كهربائية معكوسة الإشارة ، بينما تتنافر الأجسام التى تحمل شحنات كهربائية لها نفس الإشارة .

تمثيل التأثيرات الديناميكية (أفعال القوة) ، الشحنات وتعادل الشحنة :

ستفسر هنا التأثيرات الديناميكية لكهربائية التلامس بالإستعانة بالرسومات التوضيحية التالية، والمبينة على نماذج تستخدم لتفهم جوهر الكهرباء . ويبين الشكل (٩) كرة من نخاع البلسان (نوع من النبات) ، معلقة بحيث تكون حرة الحركة . ويقرب من الكرة قضيب مدلوك من الزجاج ، وكما هو متوقع من الوصف السابق ، نجد أن الكرة تتحرك فى اتجاه قضيب الزجاج .

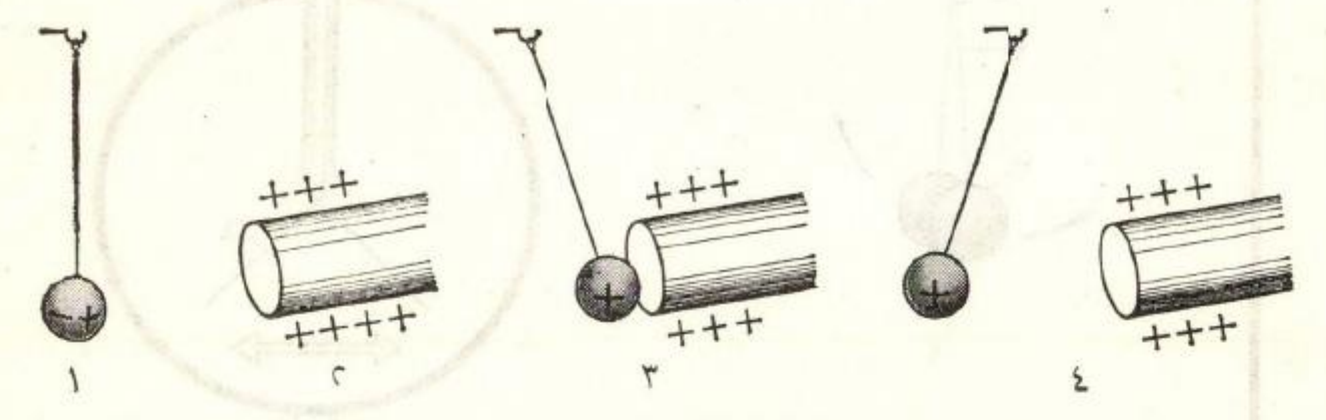


شكل ٩ : يبين الشكل تصرف قضيب مدلوك من الزجاج وكرة من نخاع البلسان تجاه كل منهما الآخر .
١ – كرة من نخاع البلسان معلقة حرة الحركة . ٣ – الرجوع إلى الوضع الأصلى .
٢ – التجاذب لقضيب الزجاج . ٤ – عند تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية ، تتنافر الكرة معه .

وعند إبعاد قضيب الزجاج عن كرة نخاع البلسان ، نجد أن الأخيرة تعود إلى وضعها الأصلى بمجرد إبعاد القضيب عنها بمسافة معينة . وبإعادة تقريب القضيب الزجاج مرة ثانية إلى الكرة ، تبتعد عنه ، ويعنى هذا حدوث قوى تنافرية .

وتفسر هذه الظاهرة بمساعدة الشحنات المختلفة كما هو مبين بالشكل (١٠) .

عند تقريب قضيب مدلوك من المطاط الصلد لكرة من نخاع البلسان تحمل شحنة موجبة كهربائياً ، نلاحظ حدوث الظاهرة الموضحة فى الشكل (١١) .



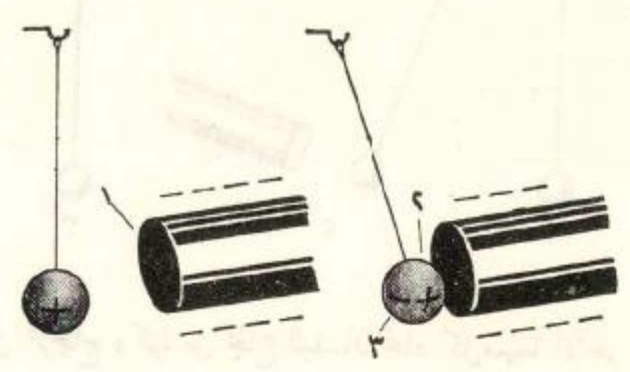
شكل ١٠ : شرح الظاهرة الموضحة فى الشكل (٩) .

١ – كرة من نخاع البلسان متعادلة كهربائيا (الشحنات الموجبة والشحنات السالبة متساوية) .

٢ – قضيب زجاج يحمل شحنة موجبة .

٣ – عند التجاذب ، يحدث تعادل للشحنة (تحمل كرة البلسان شحنة موجبة ، بينما تخفض الشحنة الموجبة التى يحملها قضيب الزجاج) .

٤ – عند إعادة تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية تتنافر كرة البلسان طبقا لقانون فعل القوة المغنطيسية .



شكل ١١ : يبين الشكل مسلك كرة من نخاع البلسان تحمل شحنة موجبة وقضيب مدلوك من المطاط الصلد ، كل منهما تجاه الآخر .

١ – يقرب قضيب من المطاط الصلد يحمل شحنة سالبة إلى كرة من نخاع البلسان تحمل شحنة كهربائية موجبة .

٢ – يحدث تعادل للشحنة أثناء تجاذب كرة البلسن وقضيب المطاط .

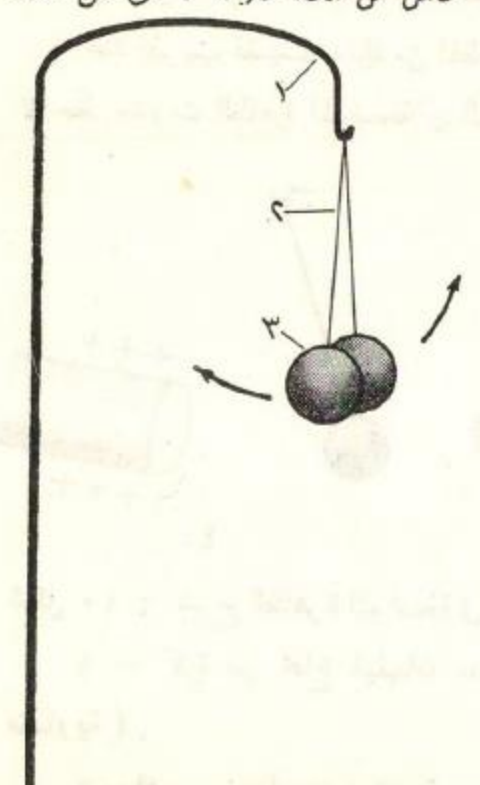
٣ – تصبح كرة نخاع البلسان متعادلة كهربائيا .

(ج) أجهزة لبيان الشحنة الكهربائية وقياسها :

سنشرح، هنا أهم الأجهزة المستخدمة فى أغراض الكهرباء الأستاتيكية ، وذلك قبل مناقشة عدة خصائص للشحنة الكهربائية .

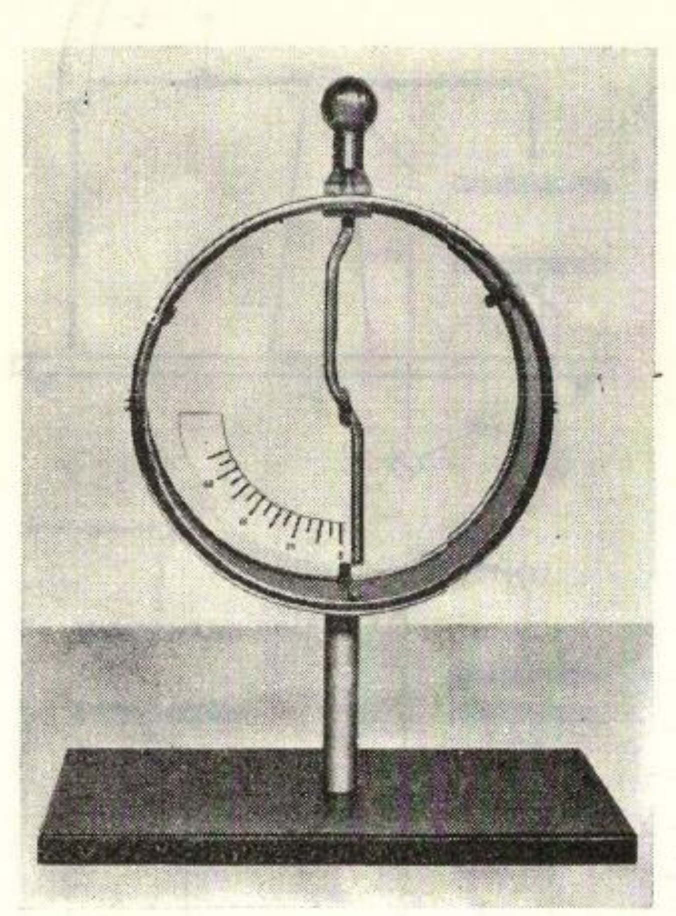
البندول الكهربائى :

يتكون من كرة من نخاع البلسان معلقة بخيط مثبت فى حامل من مادة عازلة ، أى من مادة



شكل ١٢ : البندول الكهربائى :
١ – حامل .
٢ – خيط .
٣ – كرة من نخاع البلسان .

شكل ١٣ : مكشاف وولف الكهربائى :
١ – حامل .
٢ – اسطوانة معدنية .
٣ – أنبوبة عازلة وقضيب معدنى .
٤ – مؤشر .



شكل ١٤ :
جهاز براون لقياس فرق الجهد الكهربائى .

غير حساسة للشحنات الكهربائية . فى الشكل (١٢) ، تتأرجح كرة البلسان بفعل الشحنات الكهربائية .

مكشاف ولف الكهربائى : (إليكتروسكوب وولف) :

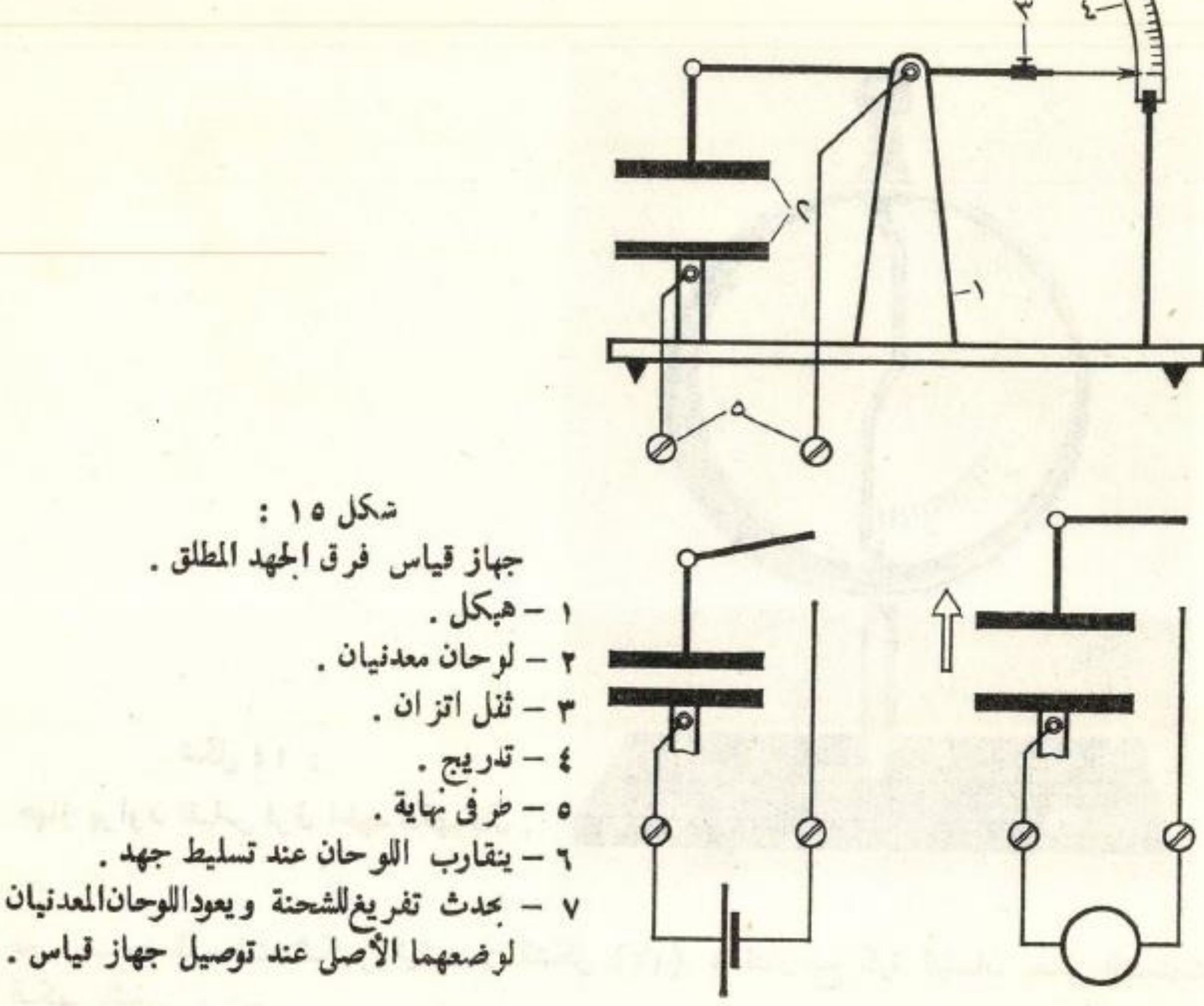
يتكون المكشاف من أسطوانة معدنية مركبة على حامل معزول ، ويثبت داخل الأسطوانة قضيب معدنى ، بطريقة بحيث يكون معزولا عنها . وتشكل نهاية القضيب على هيئة مؤشرين من رقائق الألومنيوم أو ورق الذهب ، كما فى الشكل (١٣) ، ويبتعد المؤشران عن بعضهما البعض أثناء شحن الكشاف كهربائياً ، نتيجة للتنافر المتبادل بينهما .

جهاز براون لقياس فرق الجهد :

هذا الجهاز تصميم محسن للمكشاف الكهربائى ، وبه مؤشر واحد بدلا من المؤشرين ، ويرتكز هذا المؤشر على محور ارتكاز بحيث يكون حر الدوران حوله ، كما فى الشكل (١٤) . وينحرف المؤشر أثناء شحن المكشاف كهربائياً . ويبين وضعه على تدريج قيمة جهد معين (فعل القوة الكهربائية) . ويستخدم هذا الجهاز فى بيان الجهود ذات القيم العالية .

جهاز قياس فرق الجهد المطلق :

يتكون هذا الجهاز من لوحين من المعدن موضوعين بعكس بعضهما البعض ، على مسافة معينة . يثبت أحد اللوحين فى هيكل الجهاز تثبيتاً محكماً بينما يترك الآخر بحيث يكون حر الحركة . ولرافعة الجهاز التى تحمل اللوح المتحرك نهاية على شكل مؤشر موضوع على تدريج . يتعرض



شكل ١٥ :
جهاز قياس فرق الجهد المطلق .
١ – هيكل .
٢ – لوحان معدنيان .
٣ – ثقل اتزان .
٤ – تدريج .
٥ – طرف نهاية .
٦ – ينقاوب اللوحان عند تسليط جهد .
٧ – يحدث تفريغ للشحنة ويعود اللوحان المعدنيان لوضعهما الأصل عند توصيل جهاز قياس .

اللوحان لتجاذب متبادل عند تسليط شحنة كهربائية على طرفى الجهاز (بتوصيل بطارية مثلا ، بطرفى الجهاز) . فإذا وصل بعد ذلك فلطمتر مناسب لهذا الغرض بالجهاز ، يحدث توازن للشحنات ويعود اللوحان المعدنيان إلى وضعهما الأصلى ، الشكل (١٥) . وتناسب مثل هذه الأجهزة المطلقة بصفة خاصة القياسات الدقيقة (قياسات المقارنة وأعمال المعايرة) .

(د) خواص الشحنات الكهربائية :

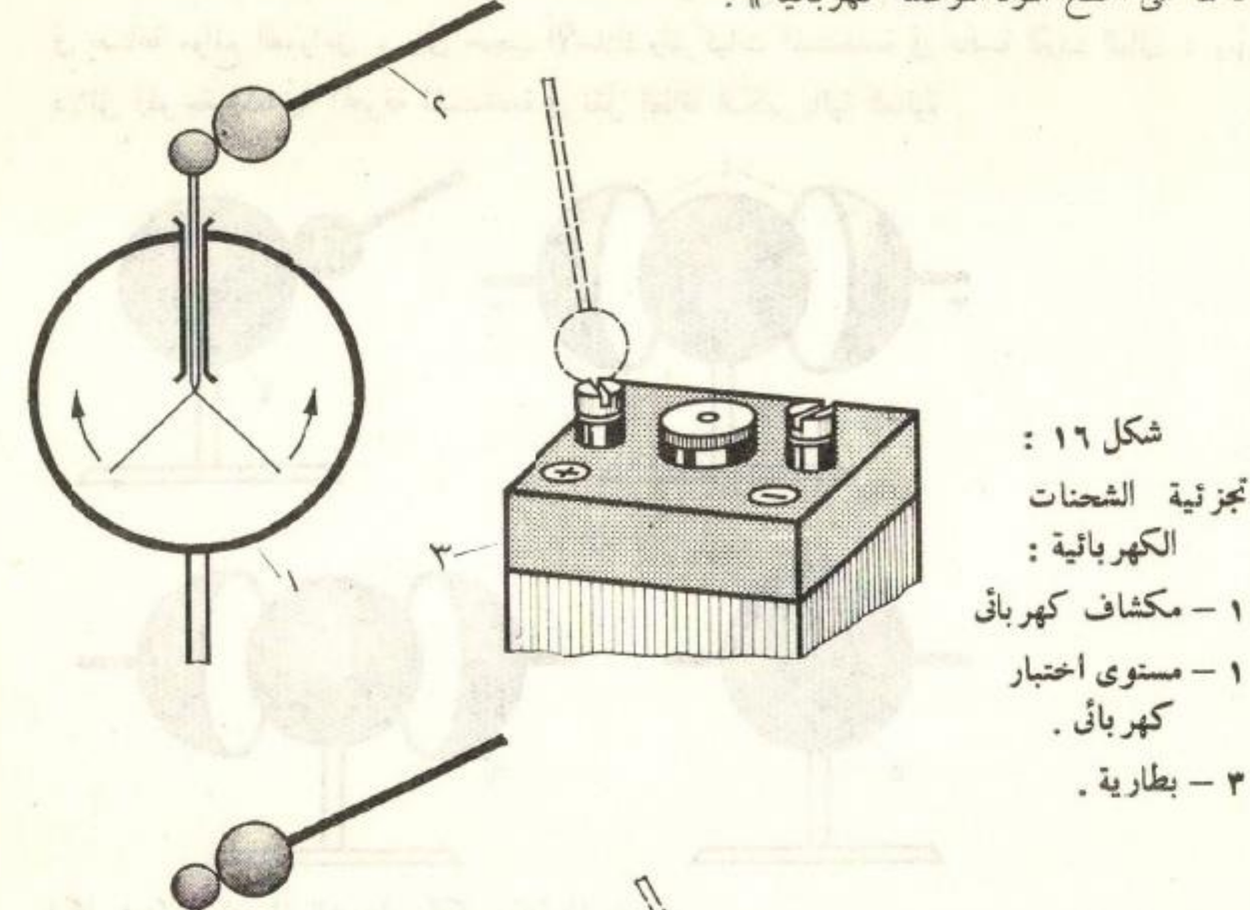
المنقولية والتجزئية :

يوضح الشكل (١٠) والشكل (١١) حقيقة قابلية الشحنات الكهربائية للانتقال (المنقولية)، ولها خاصية أخرى وهى قابليتها للتجزئة (التجزئية) . ويوضح الشكل (١٦) ترتيبة تساعد على إعطاء البرهان الكافى لإثبات التجزئية للشحنات الكهربائية . فيوصل مستوى اختبار كهربائى ، مكون من مقبض معزول فى نهايته كرة معدنية ، وذلك بالقطب الموجب لبطارية . ثم يوصل بعد ذلك بمكشاف كهربائى (إليكتروسكوب) . ونتيجة لذلك تنفرج رقيقتى الكشاف معطية انحرافاً ملحوظاً . ويزداد هذا الانحراف بتكرار هذه العملية .

ويمكن إجراء عكس هذه العملية بعد ذلك . فعندما تنقل الشحنة الكهربائية بواسطة مستوى الاختبار الكهربائى من المكشاف إلى القطب السالب للبطارية ، نلاحظ تضاؤل انحراف رقيقتى المكشاف شيئاً فشيئاً حتى تتلاشى الشحنة منه (الشكل ١٧) .

التلاصق السطحى :

لقد أجريت عدة أبحاث لمعرفة كيفية اختراق الشحنات الكهربائية للأجسام . وهل يحدث هذا الاختراق كلياً أو جزئياً . وتم التوصل إلى النتيجة التالية : تستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المواد الموصلة كهربائياً » .



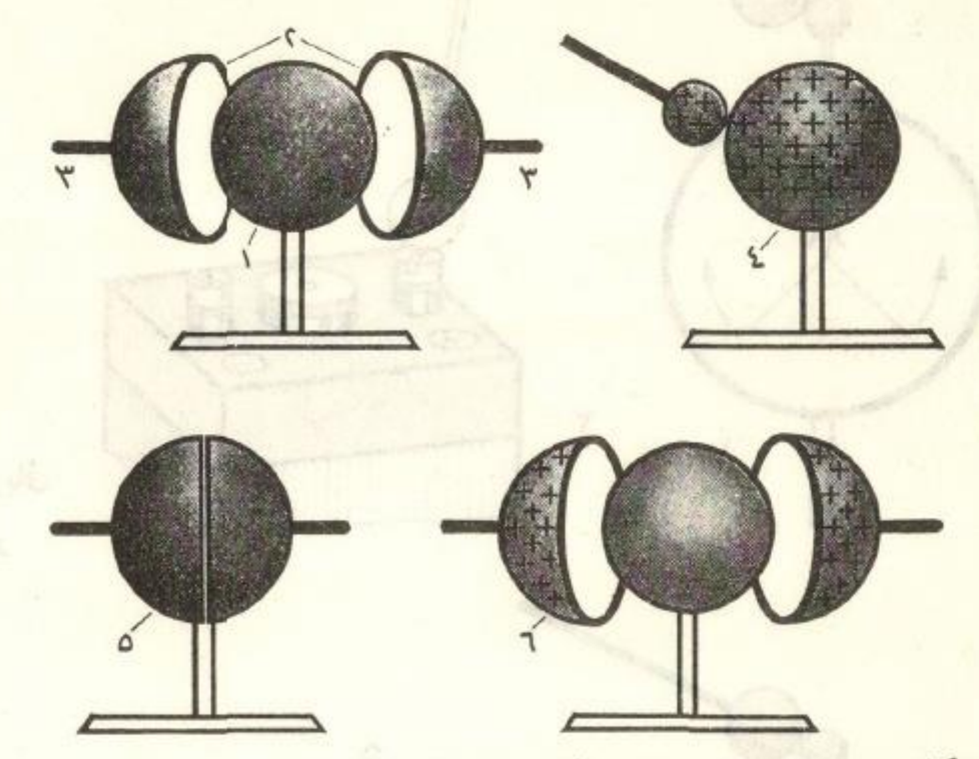
شكل ١٦ :
تجزئية الشحنات الكهربائية :
١ – مكشاف كهربائى
١ – مستوى اختبار كهربائى .
٣ – بطارية .

شكل ١٧ :
أسباب تجزئية الشحنات الكهربائية عند تفريغ المكشاف .

ويمكن إثبات هذه الظاهرة بمساعدة الترتيبة الموضحة فى الشكل (١٨) . وتتكون هذه الترتيبة من كرة مجوفة ونصفى كرة مجوفين من المعدن ، ولكل من الأخيرين مقبض معزول . ويمكن لنصفى الكرة أن ينطبقا تمام الانطباق كل على النصف المناظر له من الكرة الكاملة . وتشحن هذه الكرة بمساعدة مستوى اختبار كهربائى من بطارية ، ثم يطبق نصف الكرة على الكرة

المشحونة تطبيقاً تاماً ، ثم يحركان بعيداً عنهـا . وتبعاً لذلك تظهر شحنة كهربائية على نصفى الكرة، بينما تصبح الكرة الكاملة متعادلة كهربائياً .

وتستخدم ظاهرة استقرار الشحنة الكهربائية على أسطح لأجسام فى الأغراض الهندسية ، فمثلا ، فى صناعة موانع الصواعق ، وفى حجب الأسلاك والمركبات المستخدمة فى هندسة التردد العالى ، وفى دلائل الموجة المعدنية المجوفة المستخدمة فى نقل الطاقة الكهربائية العالية .

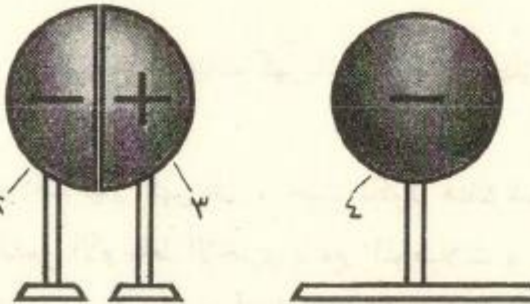


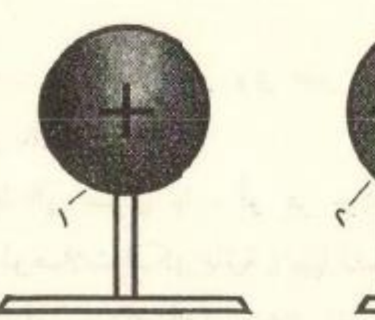
شكل ١٨ : التصاق الشحنات الكهربائية بالسطح :

١ – كرة معدنية .
٢ – نصف كرة .
٣ – مقبض معزول .
٤ – كرة معدنية عليها شحنة موجبة .
٥ – نصفا كرة منطبقان على كرة مشحونة .
٦ – شحنات موجبة على سطح نصفى الكرة بعد إبعادهما .

الشحن بالتأثير :

يبين الشكل (١٩) إمكانية منح أى جسم مكهرب جسما آخر شحنات كهربائية ، دون أى تلامس مباشر بينهما . ويوضع نصفا كرة بحيث يتلامس وجهاهما تماماً ، وذلك بين كرتين معدنيتين (من نفس النوع كما هو موضح بالشكل ١٨) . ويتم شحن الكرتين المعدنيتين كل منهما بشحنة كهربائية عكس الأخرى (إحداهما موجبة والأخرى سالبة) . يختبر نصفا الكرة قبل وضعهما فى مكانهما ، للتأكد من أنهما غير مشحونين ، ويتم ذلك بواسطة مكشاف كهربائى . وبترك نصفى الكرة بين الكرتين المشحونتين فترة وجيزة نجد أنهما أصبحا يحملان شحنة كهربائية. وهذا يعنى أنهما قد شحنا بالتأثير .





شكل ١٩ : الشحن بالتأثير :

١ – كرة معدنية عليها شحنة موجبة . ٣ – نصف كرة عليه شحنة موجبة .
٢ – نصف كرة عليه شحنة سالبة . ٤ – كرة معدنية عليها شحنة سالبة .

يلاحظ أن توزيع الشحنات على نصفى الكرة يتم فى نفس الوقت . ويحمل نصف الكرة المواجه للكرة الموجبة شحنة سالبة ، بينما يحمل النصف الآخر المقابل تلك السالبة شحنة موجبة . ونستنتج من هذه الظاهرة ما يلى :

أولا : حيث أنه ليس هناك تلامس مباشر بين أجسام الاختبار ، فإن الحث ينتج خلال الوسط المحيط بهـا (وهو الهواء فى هذه الحالة) .

ثانيـاً : أنه ليس من الضرورى أن تكون الأجسام التى لا تشحن لا تحمل الكهرباء ، كما يتضح ذلك من فصل الشحنات على نصفى الكرة . ويجب ملاحظة أن الشحن بالتأثير للأجسام يحدث أيضاً فى أوساط أخرى مثل الفراغ والزيت .

تكون الشحنات الكهربائية على المعادن قابلة للانتقال والتجزئية ، وتستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المعادن . ويحدث انفصال الشحنات بتقريب جسم مشحون من آخر غير مشحون ، ويكون الأخير متعادلا كهربائياً من قبل ذلك .

٣/٢ – الشحنات الكهربائية المتحركة :

(ا) التيار الكهربائى :

يطلق على الأجهزة والمكنات التى يتم فيها انفصال الشحنة « مصادر الجهد » ، ومن أمثلتها : المراكم والبطاريات السائلة والأعمدة الابتدائية التى تستخدم فى مشعل الجيب ، وكذلك المولدات المستخدمة فى محطات توليد القوى . وسوف يتم فيما بعد شرح الطريقة التى يتم بها انفصال الشحنات فى مصادر الجهد . وفى هذا المجال يشار إلى الحقيقة أن الشحنت الكهربائية المنفصلة تظهر عند أطراف مصادر الجهد العاملة .

يكون الطرف الموجب لمصدر الجهد للشحنة الموجبة هو المكان الذى يوجد به « نقص فى الالكترونات » ، بينما يكون الطرف السالب لنفس المصدر للشحنة السالبة هو المكان الذى به « زيادة فى الالكترونات » .

وعندما يكون طرفا مركم فى وسط كالهواء ، مثلا ، فإن تعادل الشحنات يستغرق زمنا طويلا جدا (قد يبلغ عدة سنوات) . أما إذا كان الوسط الموصل بين هذين الطرفين معدنيا كالنحاس مثلا ، تحدث الظاهرة التالية : تتحرك الشحنات السالبة (الالكترونات) خلال هذا المعدن

فى اتجاه الطرف الموجب لمصدر الجهد . وفى هذه الحالة تظهر شحنات كهربائية متحركة يطلق عليها « سريان التيار الكهربائى » .

وتسمى الأوساط التى يسرى بها ، أو يمر خلالها تيار كهربائى ، حيث تكون هناك شحنات كهربائية متحركة « الموصلات الكهربائية » بينما تسمى الأوساط الأخرى « غير الموصلات » .

ويعتبر التوصيل أو سريان التيار خلال المعادن ، نوعا من أنواع سريان التيار . وهناك أنواع أخرى لسريان التيار الكهربائى خلال السوائل الموصلة (الكتروليت) ، وخلال الغازات والفراغ المخلخل بالغازات ، وكذلك خلال المواد شبه الموصلة . وهذه الأخيرة تكون مجموعة من المواد ، يمكن إدرجها بين الموصلات وغير الموصلات ، مع أخذ تصرفها تجاه الكهرباء فى الاعتبار . وسنناقش بالتفصيل فيما بعد الأنواع المتعدده لتوصيل التيار الكهربائى .

(ب) آلية توصيل التيار الكهربائى فى المعادن :

التركيب الذرى للموصلات المعدنية :

جميع المعادن صلبة ما عدا الزئبق . وتتكون المعدن النقية من ذرات تشكل ترتيبة منتظمة تسمى « التشكيل البلورى للمعادن » كما فى الشكل (٢٠) .

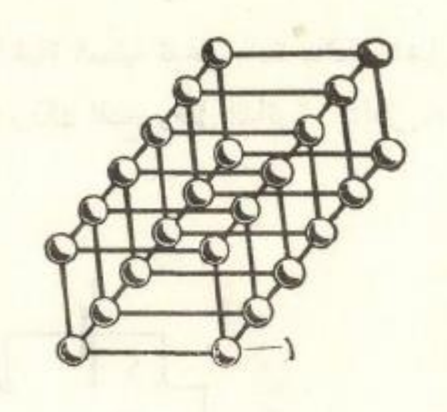
وتنفصل الالكترونات عن ذراتها فى هذا الترتيب البلورى للذرات ، ويطلق على الأجزاء الذرية المتبقية « أيونات » . وترتبط هذه الأيونات مع بعضها البعض بتأثير قواها الكهربائية الاستاتيكية محتفظة بأوضاعها بالنسبة لبعضهما البعض . وتتحرك الالكترونات الشاردة خلال المركب المتأين . وإذا لم يتعرض المعدن لأى مؤثر كهربائى ، لا يكون لحركة الالكترونات الحرة أى اتجاه مفضل ، وعلى هذا يكون المعدن متعادلا لا كهربائيا .

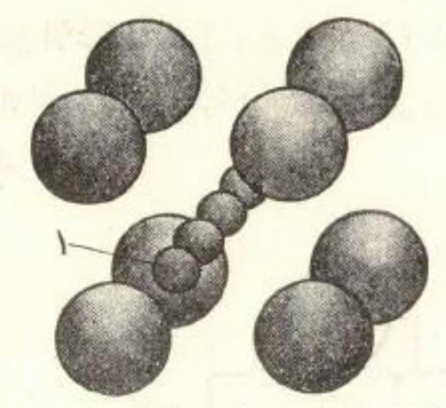
حركة الإلكترونات الحرة كتوصيل للتيار :

يبين الشكل (٢١) نموذجا من موصل كهربائى به الكترونات حرة يطلق عليها أيضا الكترونات توصيلية . ويعطى اشكل (٢٢) زيادة فى الايضاح للنموذج السابق ، مع الأخذ فى الاعتبار أن الالكترونات الحرة يمكنها أن تتحرك فى الفراغ ، ويمثل هذا الشكل نموذجا لأنبوبة والالكترونات بداخلها كأنها كرات . ويبين الشكل (٢٣) منظرا لقطاع لتمثيل المبسط لهذا النموذج .

يفسر تعادل الشحنات فى حالة توصيل طرفى مصدر الجهد بموصل معدنى على الوجه التالى : يخترق أحد الالكترونات الحرة الموصل المعدنى من الجهة التى بها زيادة فى الالكترونات ، ويخبط الكترونا آخــر مسببا دفعه مسافة بسيطة فى الاتجاه الذى به نقص فى الالكترونات . ويخبط هذا بالتالى الكترونا ثانيا مسببا دفعه فى نفس الاتجاه ، حيث يخبط بدوره الكترونا ثالثا، ويخبط الالكترون الثالث الكترونا رابعا ، وهكذا تتوالى هذه العملية .

ونتيجة لذلك تتحرك الالكترونات الحرة فى الموصل المعدنى فى اتجاه مفصل نحو المكان الذى به نقص فى الالكترونات ، حتى يحدث التعادل بين الشحنات .

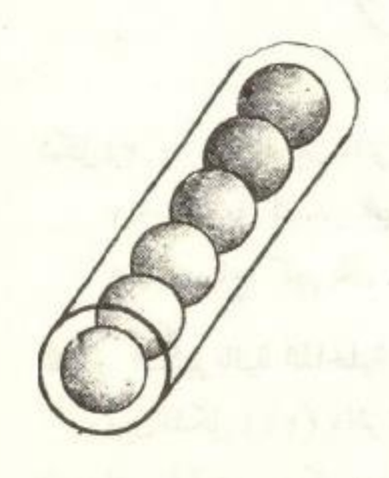




شكل ٢٠ : تمثيل تخطيطى للتركيب البلورى : ١ – جزئ أولى .

شكل ٢١ : نموذج لموصل معدنى به إلكترونات حرة : ١ – إلكترونات حرة .

شكل ٢٢ : نموذج مبسط للالكترونات الحرة .



شكل ٢٣ : منظر قطاع للنموذج المبين فى شكل ٢٢

سرعة الانتشار و سرعة الإنسياق :

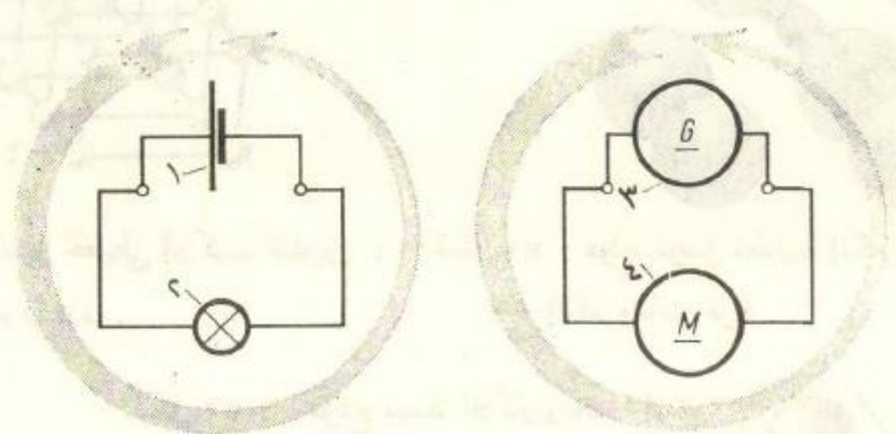
عندما نوقد مثلا ، مشعل جيب ، تمضى برهة قصيرة من الزمن حتى يشتعل المشعل . وهذا يبين أن الكهرباء تنتشر بسرعة قدرها ٣٠٠٠٠٠كم/ثانية . ويجب ألا يكون هناك خلط بين سرعة انتشار الكهرباء وسرعة انسياق الالكترونات . ويمكن استنتاج هذه الحقيقة من الشكل(٢٣) ويحدث انتشار الدفع بسرعة عالية ، وهذا يعنى أن الفترة التى يتلقى خلالها أول وآخر الكترون دفعة سوف تكون قصيرة جدا ، بينما يكون الزمن اللازم لكى يحل الكترون محل آخر ، حتى يصل إلى المكان الذى به نقص فى الالكترونات أطول نوعا ما . وقد وجد أن سرعة انسياق الالكترونات تكون حوالى مم/ثانية .

تسمى الشحنات الكهربائية المتحركة « التيار الكهربائى » . وتوصيل التيار فى الموصلات المعدنية هو توصيل للالكترونات ، أى تتحرك الالكترونات من المكان الذى به زيادة فى الالكترونات إلى المكان الذى به نقص فى الالكترونات . ويميز بين سرعة الانتشار للكهرباء و سرعة الانسياق للاكترونات .

(ج) دائرة التيار الكهربائى :

يكون أى نظام كهربائى من مصدر للجهد . وسلك منه إلى جهاز يعمل بالكهرباء ، وسلك آخر منه رجوعا إلى المصدر « دائرة تيار كهربائية » أو بالاختصار « دائرة كهربائية » .

وتبين الأشكال من (١) إلى (٤) مثل هذه الدوائر . وفى الحياة العملية تدخل عادة نبائط تشغيل فى الدائرة الكهربائية (كما فى الشكل (٢) على سبيل المثال) وذلك لفتح وقفل الدائرة بالطريقة المطلوبة .

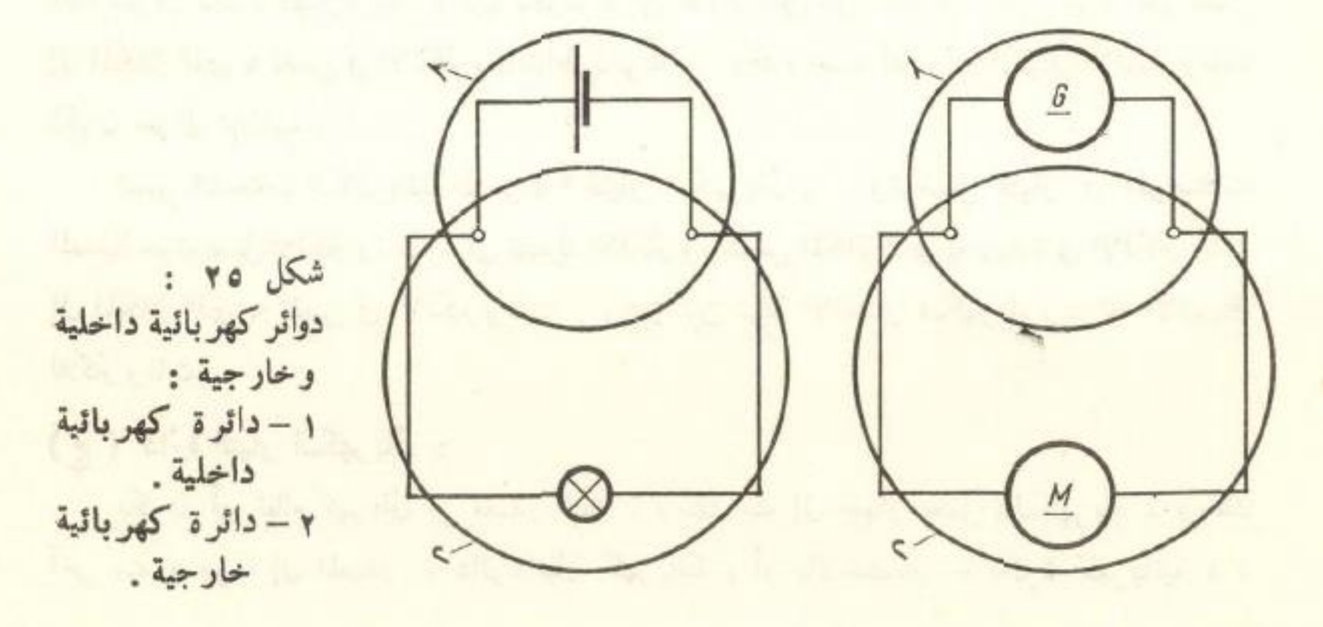


شكل ٢٤ : مقارنة بين دائرتين .

١ – بطارية كمصدر للجهد (بطارية) .
٢ – مولد كهربائى كمصدر للجهد .
٢ – مصباح كهربائى .
٤ – محرك كهربائى .

الدوائر الكهربائية الداخلية والخارجية :

يبين الشكل (٢٤) دائرتين كهربائيتين ، وبالرغم من اشتمالهما على عناصر أو مركبات مختلفة (مصادر الجهد : مركم ومولد ، مستخدمات كهربائية : مصباح متوهج ومحرك كهربائى) ، فإنه يعبر عن كل منهما برمز واحد . وتميز الدوائر : بدوائر داخلية وأخرى خارجية . ويجرى مثل هذا التميز لعدة أسباب منها ما يلى : عندما نأخذ فى الاعتبار دائرة كهربائية من اوية سريان الالكترونات ، نجد أن الالكترونات تسرى خلال الدائرة الخارجية من

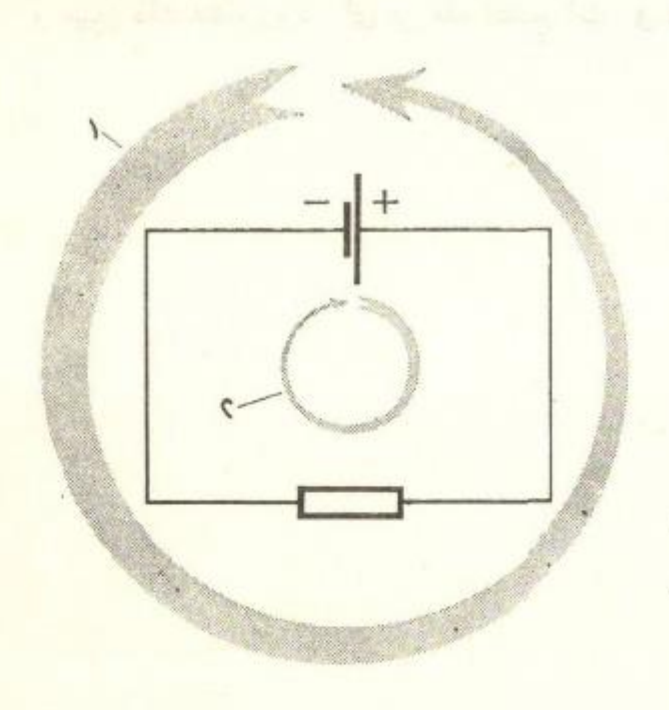


شكل ٢٥ :
دوائر كهربائية داخلية وخارجية :
١ – دائرة كهربائية داخلية .
٢ – دائرة كهربائية خارجية .

الطرف المشحون بالسالب لمصدر الجهد خلال الموصل والجهاز إلى الطرف المشحون بالموجب للمصدر ، وتسرى الالكترونات فى الدائرة الداخلية فى اتجاه عكس ذلك (الشكل ٢٥) .

تعاريف موجزة لمصطلحات أساسية :

تتكون الدائرة من عدة عناصر . وتكون جميع عناصر الدائرة موصلات كهربائية . ويسرى التيار الكهربائى فقط فى الدائرة الكهربائية المقفلة .



شكل ٢٦ :

اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائى :

١ — اتجاه سريان الإلكترونات (نتيجة علمية) .

٢ — اتجاه سريان التيار الكهربائى (اتفاق) .

تستخدم مصادر الجهد فى توليد الطاقة الكهربائية ، ويمكن أن نستنتج مما سبق (بالفصل الأول) أن مصطلح « توليد الطاقة » ليس تعبيرا دقيقا ، لأن ما يحدث فعلا هو تحويل للطاقة . وتستخدم الأسلاك أو الخطوط كممرات للتيار الكهربائى : من مصدر الجهد إلى الجهاز الكهربائى ثم الرجوع إلى المصدر .

وتحول الأجهزة التى تعمل بالكهرباء الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى منها ، ويطلق على هذه الأجهزة عادة « محولات الطاقة » (حيث لا يتمشى المصطلح « حمل » المستخدم ، فى كثير من الأحيان مع وجهات النظر الحديثة) .

وتستخدم نبائط التشغيل أو مجموعة مفاتيح التشغيل فى توصيل أو قطع أو فصل التيار الكهربائى

اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائى :

ذكرنا فيما سبق أن اتجاه سريان الالكترونات فى دائرة كهربائية خارجية يكون من المكان الذى به زيادة فى الالكترونات ، أى الطرف المشحون بالسالب أو القطب السالب

لمصدر الجهد إلى القطب الموجب لهذا المصدر . وقبل استنتاج هذه الحقيقة ، كان للمصطلحات أهمية كبرى بالنسبة للهندسة الكهربائية ، كما تقبل الفنيون الكهربائيون واستعملوا بارتياح تعاريف المصطلحات كوسيلة للتفاهم فيما بينهم . وقداتفق اختياريا فى هذا الخصوص على ما يلى : يكون اتجاه التيار الكهربائى من القطب الموجب إلى القطب السالب لمصدر الجهد . ويضاد ذلك السريان الفعلى للالكترونات . ويبين الشكل (٢٦) هذين الاتجاهين .

ويمكن تفسير عدة ظواهر كهربائية على أساس تيارات الالكترونات والايونات ، وسيبين ذلك عند ورود أى من هذه التفسيرات فى هذا الكتاب .

الفصل الرابع

الكميات الكهربائية الأساسية

تستخلص من نتائج الأبحاث العلمية والهندسية ، قوانين مبنية على « كميات » معرفة بدقة تامة . ومن أمثلة هذه الكميات : الزمن – الطول – الكتلة – القوة .

ولتسهيل كتابة مصطلحات هذه الكميات ، يرمز لها « برموز » تستخدم بكثرة فى الصيغ المختلفة . وتستخدم الحروف ، عادة ، لهذه الرموز ، وعلى سبيل المثال : يمكن أن يرمز للطول بالرمز « ل » وهكذا .

والكميات المستخدمة فى الهندسة الكهربائية على سبيل المثال هى : شدة التيار ،والجهد ، والمقاومة ،والمواسعة ، والمحاثة .

ويستخدم لقياس كل كمية وحدة واحدة على الأقل . ووحدة كمية الطول ، مثلا ، هى المتر . وتستخدم الرموز ، عادة ، للتعبير عن الكميات ، بينما تستخدم الاختصارات للدلالة على الوحدات كما يلى :

الوحـدة	الاختصار
ثانيـة	ث
مـتر	م
كيلوجرام	كجم

والوحدات المستخدمة فى الهندسة الكهربائية ، على سبيل المثال ، هى : الامبير ،والفلط ، والأوم .

وينصح فى كثير من الحالات بالتعبير عن الوحدات بمضاعفاتها وأجزائها ، فمثلا ، لا يعبر عن الأطوال بالمتر ، عادة ، بل يعبر عنها بمضاعفات المتر وأجزائه .

أمثلة :

لا تعطى المسافات فى كثير من الأحيان بالمتر ، بل تعطى بالكيلومتر . فمثلا ، إذا كانت المسافة ١٠ كيلومتر (١٠ كم) ، والكيلومتر هو مضاعف المتر ،أى أن ١ كيلومتر = ١٠٠٠ متر (١ كم = ١٠٠٠م) .

وعادة ، توقع الأبعاد على رسومات التشغيل الهندسية بالمليمتر ، فمثلا طول رافعة تحكم هو ٢٤٠ مليمتر (٢٤٠مم) . والمليمتر هو جزء من وحدة المتر ، والمتر يعادل ١٠٠٠م ، أى أن (١م = ١٠٠٠م) .

والميجاواط هو مضاعف وحدة الواط . حيث ١ ميجاواط = ١٠٠٠٠٠٠ واط . وفيما يلى اختصارات للمضاعفات وأجزائها الأكثر استخداما .

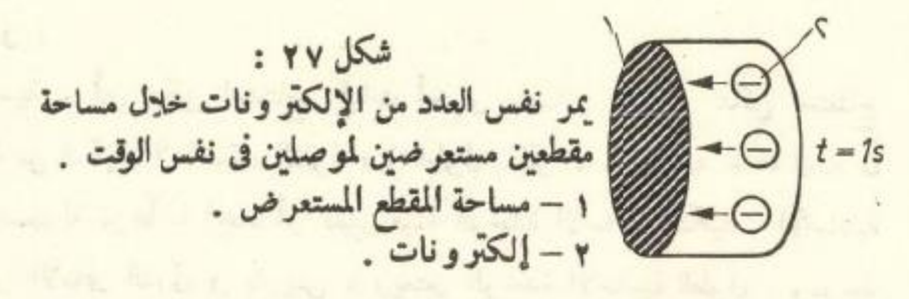
المصطلح		الاختصار		القيمة	
تيرا	Tera	تيـ	T	١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠	وحدة
جيجا	giga	جيـ	G	١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠	وحدة
ميجا	mega	ميـ	M	١٠٠٠ ٠٠٠	»
كيلو	kilo	كـ	K	١٠٠٠	»
هيكتو	hecto	هكـ	h	١٠٠	»
ديكا	deca	ديـ	da	١٠	»
—		—		١	»
ديسى	deci	دسـ	d	٠,١	»
سنتى	centi	سـ	c	٠,٠١	»
ملى	milli	مـ	m	٠,٠٠١	»
ميكرو	micro	مكـ	μ	٠,٠٠٠ ٠٠١	»
نانو	nano	نـ	n	٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١	»
بيكو	pico	بكـ	P	٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١	»

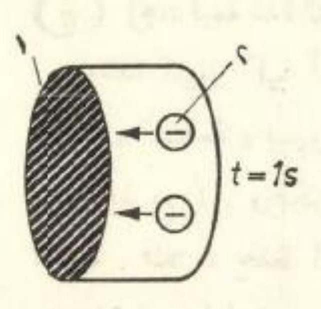
٤/١ – شدة التيار :

(ا) تعريف شدة التيار :

كثيرا ما يستخدم المصطلحان التيار وشدة التيار دون تفرقة بين مدلوليهما ، برغم وجود علاقة وثيقة بينهما . فقديؤدىهذا بسهولة إلى سوء تفسير أى ظاهرة فى الهندسة الكهربائية وعدم فهمها ، وتعتمد شدة التيار على عدد الالكترونات المارة خلال مقطع من موصل فى الثانية . ويوضح ذلك كل من الشكل (٢٧) والشكل (٢٨) .

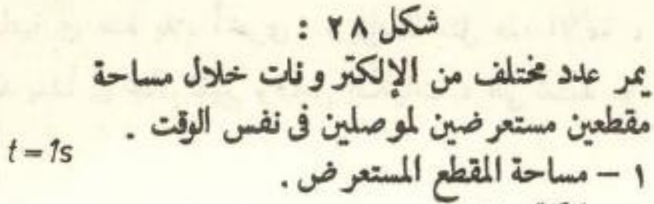
والشكل (٢٧) مثال لموصلين بمقطعين مختلفى المساحة ، ويمر خلالهما نفس العدد من الإلكترونات (ثلاثة فى الحالتين) فى الثانية . وطبقاً لهذا الشكل يتضح أن شدة التيار تكون متساوية فى كل من الموصلين بغض النظر عن مساحة مقطعيهما المستعرضين .





شكل ٢٧ :
يمر نفس العدد من الإلكترونات خلال مساحة مقطعين مستعرضين لموصلين فى نفس الوقت .
١ – مساحة المقطع المستعرض .
٢ – إلكترونات .





شكل ٢٨ :
يمر عدد مختلف من الإلكترونات خلال مساحة مقطعين مستعرضين لموصلين فى نفس الوقت .
١ – مساحة المقطع المستعرض .
٢ – إلكترونات .

والشكل(٢٨) مثال لموصلين متساويين فى مساحة مقطعهما المستعرضين ، وعدد الإلكترونات التى تمر خلال مساحة المقطع المستعرض العلوى يساوى نصف عدد الإلكترونات التى تمر فى نفس الزمن خلال مساحة المقطع المستعرض السفلى . وتبعاً لذلك ، فإن شدة التيار فى الموصل العلوى يساوى نصف شدة التيار ، فقط ، فى الموصل السفلى .

(ب) وحدة شدة التيار :

وحدة شدة التيار هى الأمبير (وتكتب باختصار مب)

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
شدة التيار	ت	أمبير	مب

وقد أطلق اسم أمبير على وحدة شدة التيار نسبة إلى عالم الطبيعيات الفرنسى أمبير **(Ampére)**.

وتختلف شدة التيار اختلافاً كبيراً كما يبين ذلك الحصر التالى :

الصـــواعق	حتى ٢٠٠٠٠٠	أمبير
أفران الصهر	١٠٠٠٠٠	أمبير
إنتاج الألومنيوم	١٠٠٠٠	أمبير
فى الحـام	١٠٠٠	أمبير
بادئ الحركة للسيارة	١٠٠	أمبير
الأجهزة المنزلية الكهربائية	حتى ٦	أمبير
الثلاجة الكهربائية	٠,٥	أمبير
المشعل الكهربائى	٠,٢	أمبير
أنابيب إلكترونية لاسلكية	٠,٠٠٠٥	أمبير
سماعة أذن للمستقبل الكاشف	٠,٠٠٠٠٠١	أمبير

(ج) إيجاد قيمة شدة التيار :

شدة التيار كمية أساسية ، أى يمكن استنتاج كميات أخرى منها . فمثلا ، يمكن استنتاج الكمية « المساحة » بسهولة من الكمية الأساسية « الطول » (الطول بالمتر ، والمساحة ح = ل × ل بالمتر المربع) . ويمكن بسهولة نوعاً ما إيجاد أو تعيين قيمة الوحدة الأساسية للكميات الأساسية المعينة . فمثلا ، يحفظ المتر الامامى الدولى فى باريس ، ويعتبر الوحدة الأساسية للطول . ويوجد منه عدة نسخ إمامية فى عدة بلاد أخرى . وبواسطة مثل هذه الأئمة ، يمكن على المستوى الدولى ، ملافاة أى خطأ قد ينشأ فى مجال تقييم وقياس الكميات ، التى تعتمد على الطول .

شكل ٢٩ :
حوض جلفانى أو إلكتروليتى يستخدم لترسيب الفضة .
١ – وعاء .
٢ – إلكترود .
٣ – محلول نترات الفضة القلوى .

ولإيجاد وحدة شدة التيار نجد أنها أكثر تعقيداً .

واستخدمت لهذا الغرض لفترة طويلة الكيفية التالية :

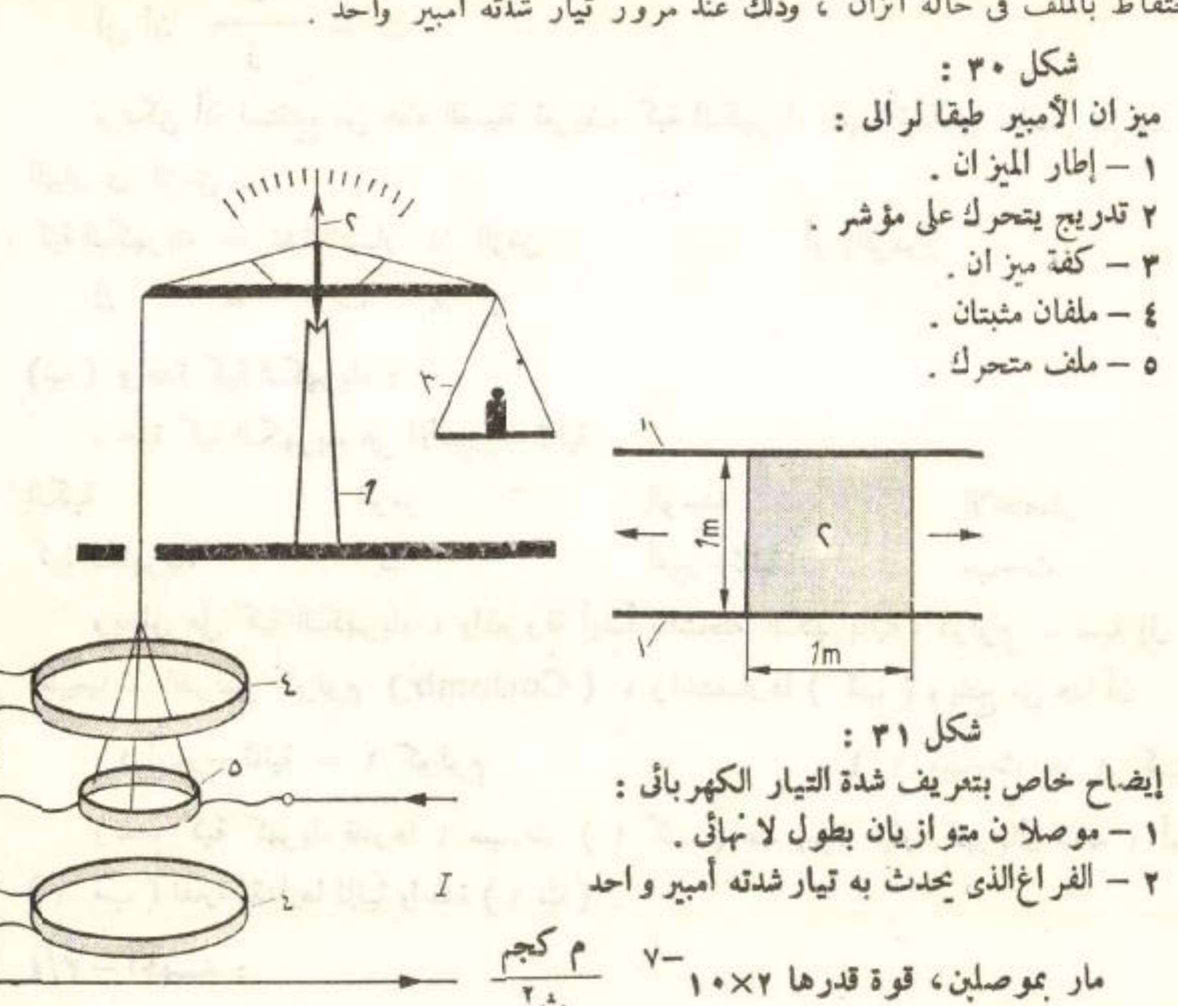
يمرر تيار كهربائى خلال حوض جلفانى ، (الشكل ٢٩) ، يحوى محلول نترات الفضة القلوى كسائل موصل كهربائياً . فيتحلل هذا المحلول كيميائياً ، وتترسب نترات الفضة على أحد الإلكترودين . وتكون شدة التيار أمبير واحد عندما يرسب هذا التيار كمية من الفضة زنتها ١,١١٨ مليجرام فى الثانية الواحدة .

وقد اتفق على التعريف التالى :

تكون قيمة شدة تيار كهربائى أمبير واحد ، إذا رسب هذا التيار ١,١١٨ مليجرام فضة بمروره فى محلول نترات الفضة القلوى لمدة ثانية واحدة .

ويتضح من ذلك صعوبة إيجاد شدة التيار بهذه الطريقة ، وخاصة إذا أريد تعيينها بدرجة عالية من الدقة . ويضاف إلى ذلك رغبة الأوساط العلمية والهندسية فى إدراج الوحدات والكميات تحت نظام يمكن فيه ربطها بعضها ببعض . ولهذا السبب تعرف اليوم شدة التيار بأنها قوة . وبنفس الطريقة ، كما هو الحال فى جهاز قياس فرق الجهد المطلق المستخدم فى قياس الجهود على أساس التأثيرات الديناميكية ، يستخدم ميزان الأمبير لتعيين شدة التيار الكهربائى . وفيما يلى شرح لميزان الأمبير طبقاً لرالى (Raleigh) .

بالشكل (٣٠) أساس ميزان الأمبير هذا . فيرتكز ذراعا رافعة على إطار ميزان . ويحمل أحد طرفى الرافعة كفة ميزان ، ويحمل الطرف الآخر ملفاً مفلطحاً قطره حوالى ٢٠٠ مم . ويوضع هذا الملف بين ملفين آخرين مفلطحين غير متحركين ، وقطر كل منهما ضعف قطر الملف المتحرك. وتوصل الملفات الثلاثة بموصلات رفيعة من الفضة.فعند مرور التيار الكهربائى فى هذه الملفات ، يحدث فيهـا تأثيرات ديناميكية تدفع بالملف المتحرك بعيداً عن وضع اتزانه . ويمكن إعادة التوازن إلى أصله بوضع سنج فى كفة الميزان . وتجرى حسابات معقدة لتعيين القوة التى تبذلهـا هذه السنج للاحتفاظ بالملف فى حالة اتزان ، وذلك عند مرور تيار شدته أمبير واحد .



شكل ٣٠ :
ميزان الأمبير طبقا لرالى :
١ – إطار الميزان .
٢ تدريج يتحرك على مؤشر .
٣ – كفة ميزان .
٤ – ملفان مثبتان .
٥ – ملف متحرك .

شكل ٣١ :
إيضاح خاص بتعريف شدة التيار الكهربائى :
١ – موصلان متوازيان بطول لا نهائى .
٢ – الفراغ الذى يحدث به تيار شدته أمبير واحد مار بموصلين، قوة قدرها ٢×١٠^-٧ م كجم/ث٢

وبناء على عمليات الوزن هذه ، وعلى عمليات رياضية معقدة إلى حد ما ، تعرف شدة التيار ، بقوة يحدثهـا موصلان متوازيان لا نهائيا الطول
ت = ١ أمبير .

٤/٢ – كمية الكهرباء :

(أ) تعريف « كمية الكهرباء » :

أمكن شرح وتعريف شدة التيار الكهربائى بمساعدة الشكل (٢٧) ، والشكل (٢٨) ، بأنه عبارة عن عدد معين من الإلكترونات تمر عبر مساحة مقطع مستعرض لموصل فى ثانية واحدة .

وحيث أن وحدة شدة التيار قد عرفت ، فإنه يمكن أيضاً تعريف كمية الكهرباء ووحدتها .

إذا اعتبرت كمية الكهرباء (ك) بأنها عدد ما من الإلكترونات ، فيمكن إيجاد شدة التيار الكهربائى (ت) ، من خارج قسمة كمية الكهرباء (ك) على الزمن (ز) الذى يستغرقه مرور كمية الكهرباء هذه ، طبقاً للصيغة التالية :

$$\frac{\text{كمية الكهرباء}}{\text{الزمن (زمن مرور التيار)}} = \text{شدة التيار الكهربائى}$$

أى أن $\frac{\text{ك}}{\text{ز}} = \text{ت}$

ويمكن أن نستنتج من هذه الصيغة تعريف كمية الكهرباء بأنها تساوى حاصل ضرب شدة التيار فى الزمن :

كمية الكهرباء = شدة التيار × الزمن

أو بالرموز

ك = ت × ز

(ب) وحدة كمية الكهرباء :

وحدة كمية الكهرباء هى الأمبير – ثانية

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
كمية الكهرباء	ك	أمبير–ثانية	مب–ث

ويطلق على كمية الكهرباء ، والمعروفة أيضاً بالشحنة الكهربائية، كولوم ، نسبة إلى عالم الطبيعيات الفرنسى كولوم (Coulomb) ، واختصارها (كب) وينتج من هذا أن

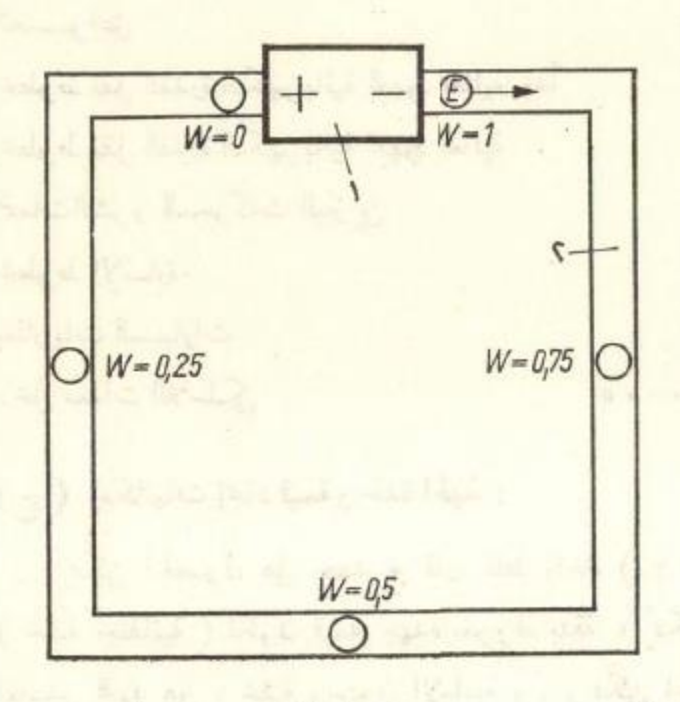
١ أمبير – ثانية = ١ كولوم (١ مب–ث = ١ كب)

وتنتج كمية كهرباء قدرها ١ مب.ث (١ كب) عند إمرار تيار كهربائى شدته ١ أمبير (١ مب) لفترة مقدارها ثانية واحدة (١ ث) .

٣/٤ – الجهد :

(ا) تعريف الجهد :

يصحب أى انفصال فى الشحنة الكهربائية استهلاك فى الطاقة ، أو شغل ، (حيث أن الطاقة والشغل هما كميتان فيزيائيتان من نفس النوع) . وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات . فجزء من الطاقة الناتجة عن دلك قضيب من الزجاج وتشغيل دينامو أو مولد ، وكجزء من الطاقة الكيميائية فى بطارية مشعل الجيب ، يعطى للإلكترونات كطاقة دفع أو شغل (ش) . وتمكن طاقة الدفع هذه من مرور الإلكترونات عبر دائرة كهربائية مقفلة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد ، مسببة توازناً فى الشحنات . وتسمى طاقة الدفع « الجهد » وكانت تسمى من قبل « التوتر الكهربائى » ولكن بطل استعمال هذه التسمية .



الشكل ٣٢

كيفية تصور فكرة الجهد الكهربائى.

١ — مصدر جهد (ڤولطية)

٢ — مسار التيار الكهربائى

ويوضح الشكل (٣٢) المقصود بالمصطلح « جهد » . ينتقل الإلكترون مزوداً بطاقة دفع ش = ١ ، فى حالة قفل الدائرة ، من القطب السالب لمصدر الجهد (١) خلال مسار التيار (٢) . وبهذا يستنفد الإلكترون شغلا ، تتحول أثناءه قوة الدفع إلى شكل آخر من الطاقة عادة ، طاقة حرارية) . وعندما يقطع الإلكترون ربع مسار التيار ينخفض جهده (قدرته الدافعة) بمقدار الربع ، وعندما يقطع هذا الإلكترون نصف مسار التيار ، ينخفض جهده بمقدار النصف . ويصبح جهده صفراً عندما يصل إلى القطب الموجب لمصدر الجهد .

استهلاك التيار وهبوط الجهد :

أوردنا فى بداية هذا الكتاب بصفة عامة ملاحظات تتعلق بتأثيرات التيار الكهربائى من الناحية التنشيطية . وقد أصبح يسيراً علينا ، بعد معرفة هذه الملاحظات بالإضافة إلى المعلومات التى سبق الإشارة إليها عن الجهد ، أن نزيل من الأذهان الخطأ الشائع المسمى « استهلاك التيار الكهربائى » ، حيث لا يمكن أبداً أن يستهلك التيار الكهربائى أو الإلكترونات المتحركة ، وكذلك فإن الجهد لا يستهلك ، بل يتحول شكل من الطاقة إلى شكل آخر منها . وفيما يتعلق بالجهد فقد قيل فى هذا المجال : ينخفض الجهد تدريجياً فى دائرة التيار المقفلة ، وذلك يحدث على طول المسار من القطب السالب إلى القطب الموجب . ويطلق على هذا «هبوط الجهد» أو الفقد فى الجهد أو «هبوط الڤلطية» فى الدائرة.

(ب) وحدة الجهد :

« الڤلط » هو وحدة الجهد .

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
الجهد	ج	ڤلـط	ڤـل

وقد أطلقت هذه التسمية على وحدة الجهد نسبة إلى عالم الطبيعيات الإيطالى فولتا (Volta) .

وتختلف الجهود اختلافاً كبيراً ، كما يبين ذلك الحصر التالى :

الصـــواعق	حتى ١٠٠٠٠٠٠	فلط
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية جداً	٣٨٠٠٠٠	فلط
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية	٦٠٠٠٠	فلط
شمعات الشرر للمحركات البنزين	١٥٠٠٠	فلط
خطوط الإنـارة	٢٢٠	فلط
بطاريات السيارات	١٢	فلط
دخل معدات اللاسلكى	٠,٠٠٠٠٠٥	فلط

(ج) إمكانيات إيجاد قيمة و حدة الجهد :

يمكن الحصول على جهد ج قدره فلط واحد (١ ﻓﻝ)،وذلك بمساعدة مصدر للجهد جلفانى (خلية جلفانية) تكون قيمة جهده معروفة بدقة ، يمكن اعتباره عملياً مصدراً ثابتاً للجهد . وهذا المصدر للجهد هو « خلية وستون الإمامية » . ويمكن الحصول على جهد قدره فلط واحد من خلية وستون الإمامية و لهـا جهد ثابت قدره ١,١٠٨٣ فلط عندما تكون درجة حرارة الوسط المحيط ٢٠ °م .

وهناك تعريف آخر للجهد على أساس القدرة الكهربائية . وسوف نناقش هذا التعريف فيما بعد بالفصل الثامن .

(د) التعاريف المتعددة للجهد :

وضعت تعاريف متعددة فى مجال تطوير الهندسة الكهربائية ، وذلك للتعبير عن الخصائص المميزة للجهود وتطبيقاتهـا .

جهد مسلط :

هو الجهد الفعال فى الدائرة الداخلية ، أى فى خلية جلفانية أو دينامو أو مولد . ويطلق أيضاً على هذا الجهد «القوة الدافعة الكهربائية الابتدائية» . وللدلالة على الجهد المسلط بصفة خاصة يرمز لـه بالرمز (ج) .

جهد طرفى :

هو الجهد الذى يمكن قياسه عند أطراف مصدر الجهد .

جهد التشغيل أو الجهد المقنن : هو الجهد الذى تضمن محطة القوى الكهربائية تغذية شبكة المستهلكين به كجهد تشغيل (١١٠فلط ،أو٢٢٠ فلط أو ٣٨٠ فلط) ، ومن جهة أخرى ، فإن الجهد المقنن هو الجهد الذى تصمم أو تقنن الأجهزة الكهربائية للتشغيل عليه (مثلا مصباح ١٢ فلط للسيارة) .

جهد منخفض : يبين هذا التعبير مدى لجهود يصل إلى ٤٢ فلط . ولا يشكل هذا المدى عادة خطراً على حياة الإنسان .

جهد المآخذ الرئيسى : يبين هذا التعبير مدى لجهود يشتمل على الجهود بين محطات القوى والمستهلكين تنحصر فى الآتى :

نظام جهد عال جداً	(حتى حوالى ٣٨٠٠٠٠ فلط)
نظام جهد عـال	(حتى حوالى ١١٥٠٠٠ فلط)
نظام جهد متوسط	(حتى حوالى ٣٠٠٠٠ فلط)
نظام جهد منخفض	(١١٠ فلط ، ٢٢٠ فلط ، ٣٨٠ فلط)

٤/٤ — المقـاومة :

(ا) تعريف المقاومة :

يستخدم تعبير « مقاومة » فى الهندسة الكهربائية للدلالة على كية كهربائية . ولا يستخدم للدلالة على عنصر كهربائى يعوق سريان التيار الكهربائى . وإنما يطلق على هذا العنصر « مقاوم » وسوف نتعرض لشرحه فيما بعد بالفصل السادس .

وتم إيضاح الكية الكهربائية التى يطلق عليهـا مقاومة بطريق غير مباشر فى شرح الجهد الكهربائى : عندما يمر التيار الكهربائى خلال مسار معين ، تفقد الإلكترونات الطاقة الدافعة (الجهد) ، التى يتحول معظمها إلى حرارة . ويمكن صياغة ذلك كما يلى : يحدث مسار التيار (سواء كان هذا المسار معدنياً أو سائلا موصلا كهربائيا) مقاومة فى طريق الإلكترونات ، ويلزم للالكترونات التغلب على هــذه المقاومة للوصول إلى تعادل فى الشحنة . وسوف نبين بالفصل الخامس ، ضرورة الاعتماد على الكية « مقاومة » فى شرح قوانين الدائرة الكهربائية .

(ب) وحدة المقاومة :

وحدة المقاومة هى « الأوم »

الكمية	الرمز	الوحدة	الإختصار
مقاومة	م	أوم	Ω

واشتقت هذه التسمية لوحدة المقاومة من اسم عالم الطبيعيات الألمـانى أوم (**Ohm**) .

(ج) إمكانية إيجاد قيمة وحدة المقاومة :

لحصول على وحدة المقاومة تستخدم طريقة مماثلة لتلك المستخدمة لحصول على جهد قدره فلط واحد من مصد جهد جلفانى ، باستخدام مسار معين للتيار .

تنتج مقاومة قدرها أوم واحد (Ω) ، إذا سرى تيار كهربائى خلال عمود من الزئبق حرارته مساوية لدرجة ذوبان الجليد ، ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم٢ وطوله ١٫٠٦٣ متر .

وهناك تعريف آخر للمقاومة يستنتج من العلاقة المتبادلة بين الجهد وشدة التيار ، وسوف نشرح ذلك بالفصل الخامس .

الفصل الخامس

العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد والمقاومة (قانون أوم)

سنتعرض فى أثناء الشرح التالى ، إلى بعض أجهزة القياس التى ستأتى تفاصيل تصميمها وطرق تشغيلها فيما بعد بالجزء الثانى من هذا الكتاب (الفصل الثالث) . ويستخدم الأميتر لقياس شدة التيار ، ويستخدم الفلطمتر لقياس الجهد ، بدرجة دقة تكفى للغرض المطلوب .

ويمكن إيضاح العلاقة بين الكميات الكهربائية ، مثل شدة التيار والجهد والمقاومة ، باستخدام أجهزة القياس الكهربائية وبضع ترتيبات اختبار . ووجود مثل هذه العلاقات يفرض نفسه من خلال ظاهرة أو أخرى ، ومن المؤكد استخدام كل فرد لها :

١ – لا يضئ مشعل جيب كهربائى مقننه ٤ فلط إذا وصل بعامود جاف جهده ١,٢ فلط .

٢ – يعطى كشاف دراجة حوالى نصف ضوئه ، إذا دار دينامو هذه الدراجة بسرعة تقدر بنصف سرعته المقننة فقط .

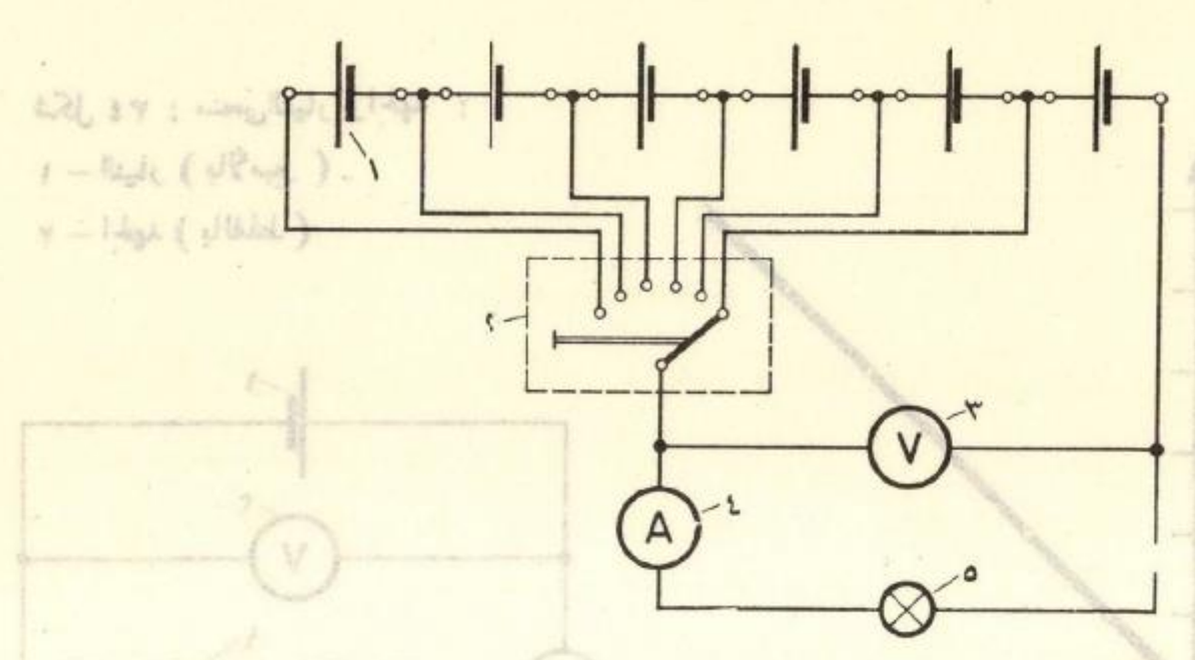
٣ – يحترق فى الحال مصباح كهربائى مقننه ١١٠ فلط ، إذا وصل بمصدر جهده ٢٢٠ فلط .

١/٥ = الخواص المميزة لشدة التيار / الجهد :

والشكل (٣٣) مثال لرسم الدائرة للترتيبة التى تستخدم فى تحديد العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد .

تتكون هذه الترتيبة من بطارية بست خلايا ، جهد كل منها ٢ فلط ، وبذلك يكون الجهد الكلى للبطارية ١٢ فلط . ويمكن الحصول على مراحل على الجهود الآتية : ٢ فلط ، ٤ فلط ، ٦ فلط ، ٨ فلط ، ١٠ فلط ، ١٢ فلط ، وذلك باستخدام مفتاح خلايا كهربائى (مفتاح منظم) . ويوصل فى هذه الترتيبة فلطمتر ليبين الجهد . وتشتمل هذه الترتيبة أيضاً على أميتر ومصباح متوهج مقننه ١٢ فلط . وتؤخذ ست قراءات وتسجل للجهد وشدة التيار المقابلة كما يلى :

رقم القراءة	الجهد (ج) بالفلط	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٢	٠,٢٥
٢	٤	٠,٥١
٣	٦	٠,٧٥
٤	٨	١,٠٠
٥	١٠	١,٢٥
٦	١٢	١,٥٠



شكل ٣٣ : ترتيبة رسم دائرة لتحديد الخصائص المميزة – شدة التيار /الجهد :

١ – بطارية بست خلايا ، جهد كل منهما ٢ فلط .
٢ – مفتاح خلايا! كهربائى (مفتاح منظم كهربائى) .
٣ – فلطمتر .
٤ – أمبير .
٥ – مصباح ١٢ فلط .

الخاصية الأولى التى يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هى : تزداد شدة التيار بازدياد الجهد .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من قسمة الجهد على شدة التيار ت وهى :

مسلسل	١	٢	٣	٤	٥	٦
خارج القسمة $\frac{ج}{ت}$	٨	٧,٨	٨	٨	٨	٨

وعلى ذلك تكون قيم خارج القسمة $\frac{ج}{ت}$ متساوية فى جميع الحالات . ($\frac{ج}{ت}$ ثابت) .

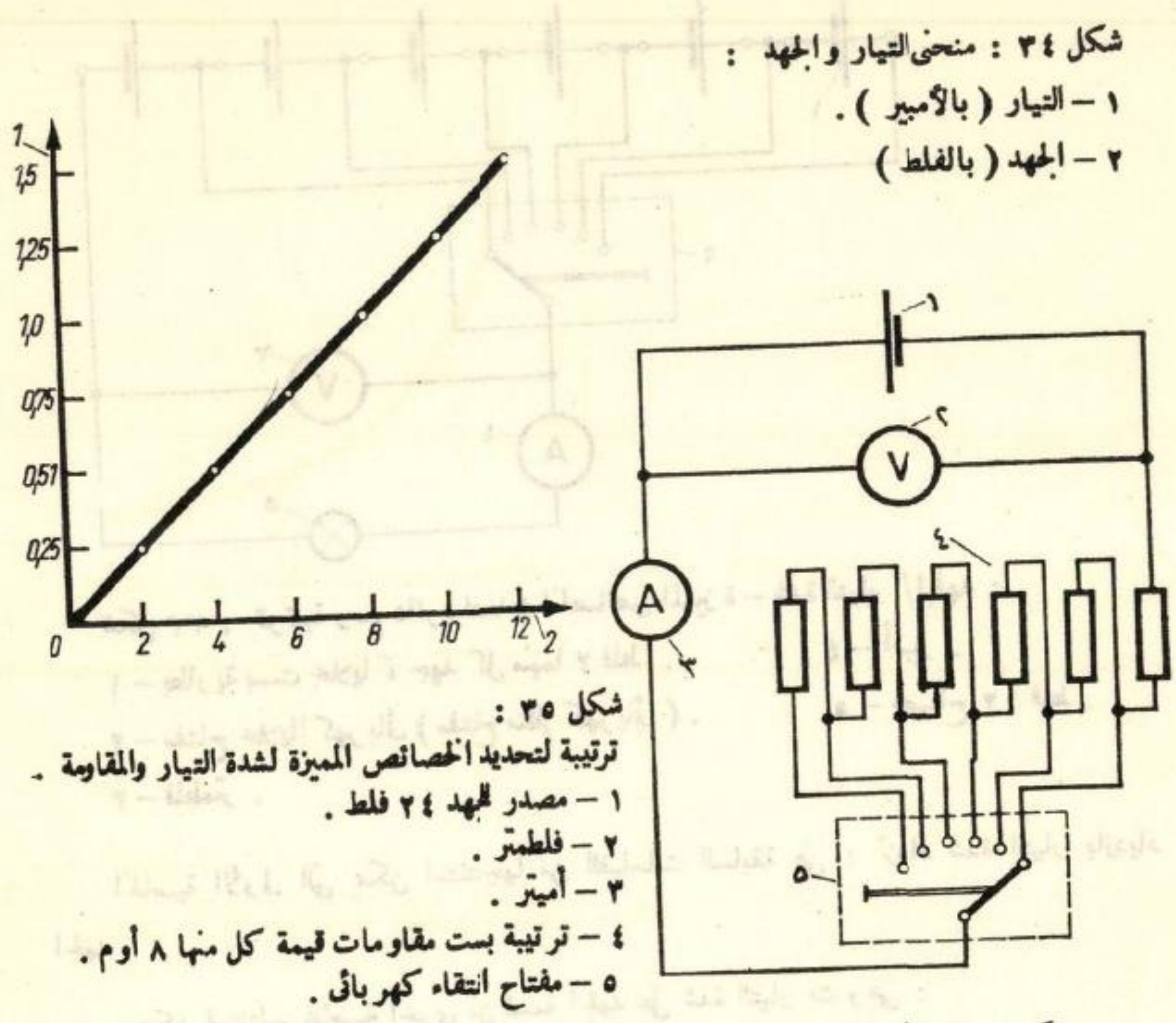
ومنه نحصل على النتيجة التالية :

تزيد أو تنقص كل من شدة التيار والجهد بنفس النسبة ، أى أنهما يتناسبان تناسباً طردياً ج α ت . وتوضح هذه العلاقة برسم منحنى بيانى بين شدة التيار والجهد (الشكل ٣٤) . فتكون العلاقة بينهما عبارة عن خط مستقيم ويمر بنقطة الأصل (دالة خطية) .

٢/٥ – الخصائص المميزة لشدة التيار/المقاومة :

ويبين الشكل (٣٥) مثلا لرسم الدائرة لترتيبة تستخدم تحديد العلاقة بين شدة التيار والمقاومة.

شكل ٣٤ : منحنى التيار والجهد :
١ – التيار (بالأمبير) .
٢ – الجهد (بالفلط)

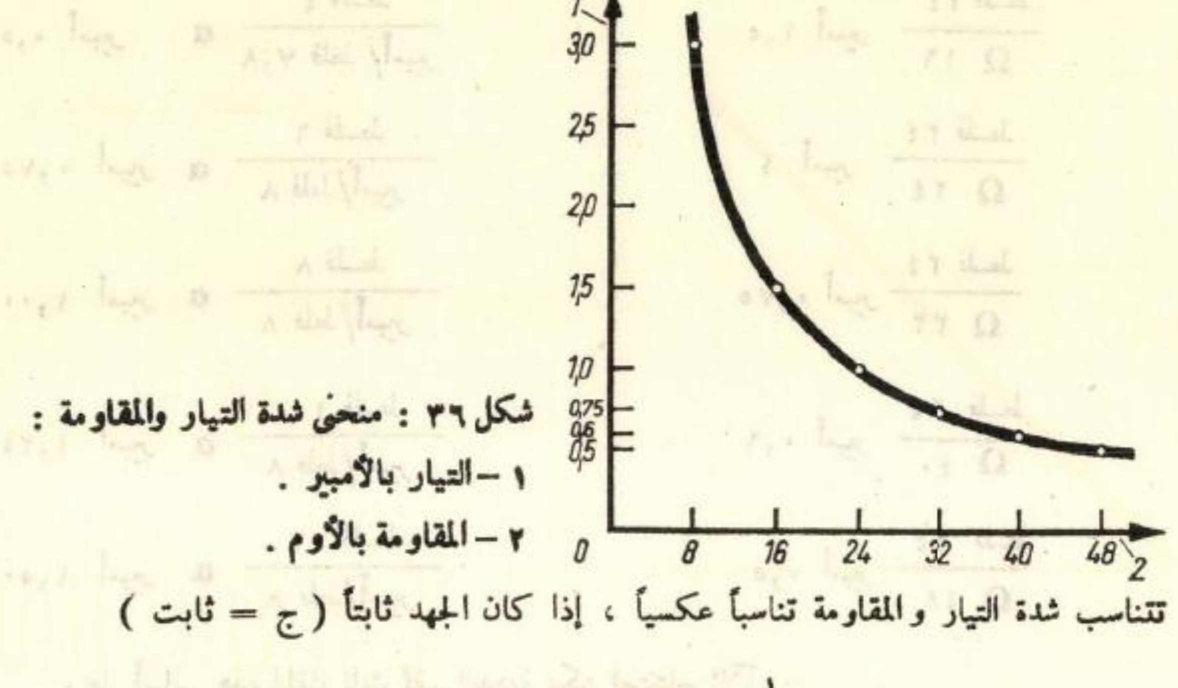


شكل ٣٥ :
ترتيبة لتحديد الخصائص المميزة لشدة التيار والمقاومة .
١ – مصدر للجهد ٢٤ فلط .
٢ – فلطمتر .
٣ – أميتر .
٤ – ترتيبة بست مقاومات قيمة كل منها ٨ أوم .
٥ – مفتاح انتقاء كهربائى .

وتتكون هذه الترتيبة من مصدر للجهد يعطى ٢٤ فلط ، وفلطمتر (ويستخدم فقط للتأكد من ثبات جهد المصدر على ٢٤ فلط ، طول فترة التجربة) ، وأميتر ، وترتيبة من ست مقاومات ، مقاومة كل منها ٨ أوم . وتوصل هذه المقاومات بمفتاح إنتقاء كهربائى ، لحصول مقاومات فى الدائرة : ٨ Ω ، ١٦ Ω ، ٢٤ Ω ، ٣٢ Ω ، ٤٠ Ω أو ٤٨ Ω حسب وضع المفتاح . وتؤخذ ست قراءات ، وتسجل شدة التيار لكل قيمة من المقاومات السابقة كما يلى :

رقم القراءة	المقاومة (م) بالأوم	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٨	٣
٢	١٦	١,٥
٣	٢٤	١,٠
٤	٣٢	٠,٧٥
٥	٤٠	٠,٦
٦	٤٨	٠,٥

الخاصية الأولى التى يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هى :
تنخفض شدة التيار بازدياد المقاومة .
ويمكن استنتاج خاصية أخرى من المنحنى البيانى لشدة التيار والمقاومة (الشكل ٣٦) كما يلى :



شكل ٣٦ : منحنى شدة التيار والمقاومة :
١ – التيار بالأمبير .
٢ – المقاومة بالأوم .

تتناسب شدة التيار والمقاومة تناسباً عكسياً ، إذا كان الجهد ثابتاً (ج = ثابت)

$$\text{ت} \propto \frac{1}{\text{م}}$$

٣/٥ – تفسير قانون أوم :

تستنتج الصيغة التالية من الخاصيتين السابقتين وهما :

$$\text{ت} \propto \text{ج}$$

(تتناسب شدة التيار والجهد تناسباً طردياً)

$$\text{ت} \propto \frac{1}{\text{م}}$$

(تتناسب شدة التيار ومقلوب المقاومة تناسباً طردياً)

من $\text{ت} \propto \text{ج}$

$$\text{ت} \propto \frac{1}{\text{م}}$$

ينتج أن $\text{ت} \propto \frac{\text{ج}}{\text{م}}$

ومما سبق نحصل على الآتى :

شدة التيار والجهد	شدة التيار والمقاومة
٠,٢٥ أمبير $= \frac{\text{٢ فلط}}{\text{٨ فلط/أمبير}}$	٣ أمبير $= \frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{٨ } \Omega}$

٠,٥ أمبير α $\frac{\text{٤ فلط}}{\text{٧,٨ فلط /أمبير}}$

٠,٧٥ أمبير α $\frac{\text{٦ فلط}}{\text{٨ فلط/أمبير}}$

١,٠٠ أمبير α $\frac{\text{٨ فلط}}{\text{٨ فلط/أمبير}}$

١,٢٥ أمبير α $\frac{\text{١٠ فلط}}{\text{٨ فلط/أمبير}}$

١,٥٠ أمبير α $\frac{\text{١٢ فلط}}{\text{٨ فلط/أمبير}}$

١,٥ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{١٦ } \Omega}$

١ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{٢٤ } \Omega}$

٠,٧٥ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{٣٢ } \Omega}$

٠,٦ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{٤٠ } \Omega}$

٠,٥ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{٤٨ } \Omega}$

وعلى أساس هذه المقارنات للقيم العددية يمكن استنتاج الآتى :

١ – يعنى التعبير $\frac{\text{فلط}}{\text{أمبير}}$ التعبير Ω تماماً

٢ – تعطى قيمة شدة التيار فى جميع الحالات باستخدام خوارج القسمة كما يلى :

من $\frac{٢}{٨} = ٠,٢٥$ وفلط $\times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلط}} =$ أمبير

تنتج ٠,٢٥ أمبير

ومن $\frac{٢٤}{٨} = ٣$ ، فلط $\times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلط}} =$ أمبير

ينتج ٣ أمبير

وحيث أن خارج قسمة $\frac{\text{ج}}{\text{م}}$ فى جميع الحالات يسوى قيمة ت (شدة التيار) ، نحصل على الآتى :

$$\text{ت} = \frac{\text{ج}}{\text{م}}$$

$$\text{شدة التيار} = \frac{\text{الجهد}}{\text{المقاومة}}$$

وقد قام جورج سيمون أوم (١٧٨٩ – ١٨٥٤) بتحقيق هذ الصيغة الأساسية ، وتعرف باسم « قانون أوم » .

وفى حالة معرفة أى كميتين يمكن تحديد الكمية الثالثة بواسطة هذا القانون .

وعندما نرغب فى وضع الكمية المطلوب تحديدها على يمين الصيغة ، تجرى هذه العمليات الرياضية :

(١) $ت = \frac{ج}{م}$ ، ج هى المطلوب نقلها إلى يمين الصيغة بتبديل طرفى الصيغة كل مكان الآخر .

$\frac{ج}{م} = ت$

$\frac{ج}{م} \times م = ت \times م$ بضرب كل من الطرفين فى م

$ج = ت \times م$ بحذف م من الطرف الأيمن

وعليه :

$ج = ت \times م$ الجهد = شدة التيار × المقاومة .

(٢) $ج = ت \times م$ ومطلوب نقل م إلى الطرف الأيمن من الصيغة .

ينتج أن $ت \times م = ج$ بتبديل الطرفين كل مكان الآخر .

$\frac{ت \times م}{ت} = \frac{ج}{ت}$ بقسمة كل من الطرفين على ت

$م = \frac{ج}{ت}$ بحذف ت من الطرف الأيمن .

$م = \frac{ج}{ت}$ المقاومة = $\frac{\text{الجهد}}{\text{شدة التيار}}$

ويمكن أيضا وضع م فى الطرف الأيمن من الصيغة المستعملة فى (١)

$ت = \frac{ج}{م}$ ، $\frac{ج}{م} = ت$ ، $\frac{ت}{ج} = \frac{ج}{ج \times م}$

$\frac{١}{م} = \frac{ت}{ج}$ وينتج أن $م = \frac{ج}{ت}$

ويقتصر استخدام قانون أوم فى الهندسة الكهربائية . وللدقة فى التعبير ، يطبق هذا القانون على الموصلات المعدنية فى نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . وسوف نتعرض لهذا الموضوع ونناقش القوانين المشتقة من قانون أوم فيما بعد .

ولزيادة الإيضاح ، نعيد هنا كتابة الثلاث صيغ السابق مناقشتها :

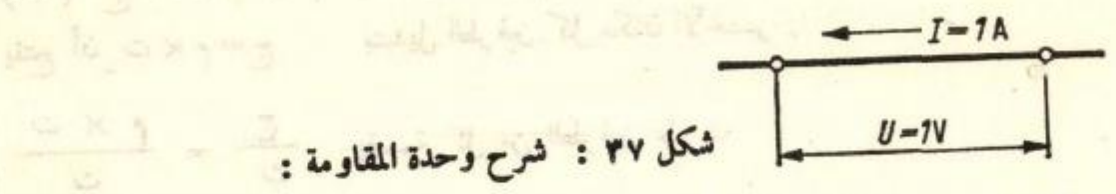
$$\text{شدة التيار ت} = \frac{\text{الجهد ج}}{\text{المقاومة م}}$$

$$\text{الجهد ج} = \text{شدة التيار ت} \times \text{المقاومة م}$$

$$\text{المقاومة م} = \frac{\text{الجهد}}{\text{شدة التيار}} = \frac{\text{ج}}{\text{ت}}$$

(ا) تعريف وحدة المقاومة :

أمكن استنتاج أن خارج قسمة الجهد على شدة التيار $\frac{\text{ج}}{\text{ت}}$ = مقدار ثابت ، وذلك من الخصائص المميزة لشدة التيار والجهد ، وكذلك أوضح لنا قانون أوم أن $\frac{\text{ج}}{\text{ت}}$ = م ، ونستخلص من ذلك أنه : عندما يمر تيار شدته أمبير واحد عند جهد قدره فلط واحد ، تكون قيمة المقاومة مساوية أوم واحد (١ Ω) ، ويساعد الشكل (٣٧) فى تفهم التعريف الصحيح لوحدة المقاومة .



شكل ٣٧ : شرح وحدة المقاومة :

الأوم الواحد : هو المقاومة الكهربائية بين نقطتين على موصل معدنى درجة حرارته منتظمة ، ويسرى به مؤقتا تيار كهربائى ثابت قيمة شدته أمبير واحد ، عندما يكون هناك جهد قيمته فلط واحد بين هاتين النقطتين .

٤/٥ — حسابات الدائرة الكهربائية الأساسية :

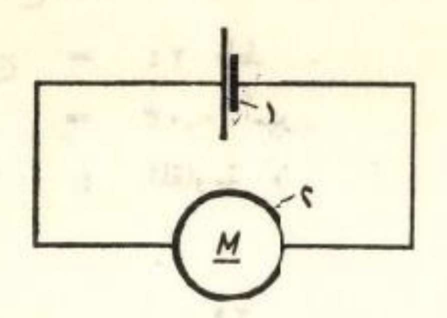
تعرف الدائرة الكهربائية الأساسية بأنها دائرة بسيطة تتكون أساسا من مصدر للجهد ، و جهاز يعمل بالكهرباء . كما تعرف أيضا بالدوائر البسيطة التى تشتمل بالإضافة إلى ذلك على مصاهر ومفاتيح كهربائية توضع فى مسار التيار الكهربائى ، وفيما يلى بضعة أمثلة لحسابات مبنية على قانون أوم فيما يختص بالدائرة الكهربائية الأساسية :

مثـال :

محرك كهربائى دمية (الشكل ٣٨) قيمة مقاومته م ٢٦,٧ Ω ولا يتعدى مقنن شدة تياره ٠,٤٥ أمبير . فا الجهد المطلوب تسليطه على المحرك أثناء تشغيله ؟

المعطيات : م = ٢٦,٧ Ω
ت = ٠,٤٥ أمبير

المطلوب : الجهــد ج



شكل ٣٨ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ – مصدر جهد .
٢ – محرك كهربائى دمية .

الحـــل :

ج = ت × م
ج = ٠,٤٥ × ٢٦,٧
ج = ١٢,٠١٥ فلط .

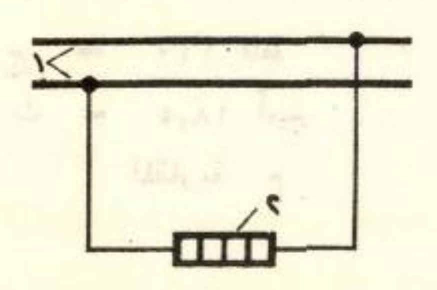
قيمة الجهد المطلوب تسليطه على المحرك الدمية أثناء تشغيله ١٢ فلط .

مثـــال :

مسخن غاطس (الشكل ٣٩) مقاومته ٧٥ Ω ، وشدة التيار المسموح بها ٢,٧٥ أمبير . فما الجهد الذى يمكن تشغيل المسخن عليه ؟

المعطيات : م = ٧٥ Ω
ت = ٢,٧٥ أمبير

المطلوب : الجهــد ج



شكل ٣٩ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ – مصدر جهد (مأخذ رئيسى) .
٢ – مسخن (مسخن غاطس فى هذه الحالة) .

الحـــل :

ج = ت × م
ج = ٢,٧٥ × ٧٥
ج = ٢١٦,٢٥ فلط

يمكن تشغيل المسخن الغاطس من مأخذ رئيسى جهده ٢٢٠ فلط .

مثـــال :

الجهد عبر متابع عدة تليفون ٢٤ فلط (الشكل ٤٠). وبقياس شدة التيار وجدت ٠,٠٣ أمبير . فما مقاومة هذا المتابع ؟

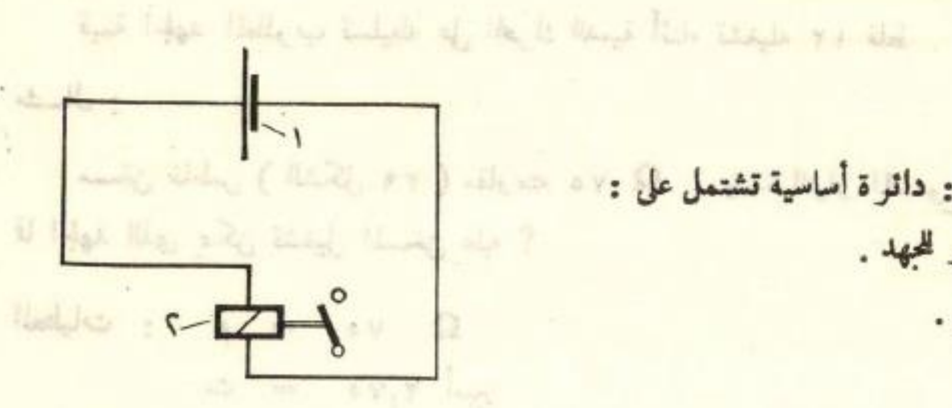
المعطيات : ج = ٢٤ فلط
= ٠,٠٣ أمبير

المطلوب إيجاده : المقاومة م

الحـــل :

$$م = \frac{ج}{ت} ، م = \frac{٢٤}{٠,٠٣} ، م = ٨٠٠ \ \Omega$$

تكون مقاومة المتابع ٨٠٠ Ω



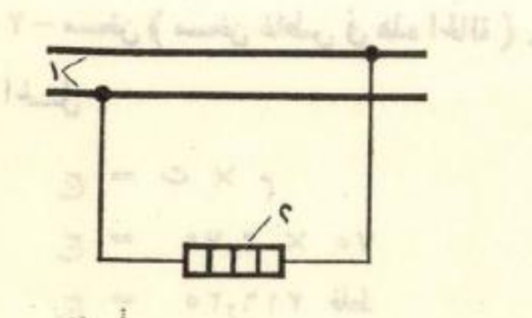
شكل ٤٠ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ – مصدر الجهد .
٢ – متابع .

مثـــال :

مسخن موصل بمأخذ رئيسى جهده ١١٠ فلط (الشكل ٤١) والتيار (ت) المار بالمسخن شدته ١٨,٥ أمبير . فما قيمة مقاومة المسخن م ؟

المعطيات : ج = ١١٠ فلط
ت = ١٨,٥ أمبير

المطلوب : المقاومة م



شكل ٤١ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ – مأخذ رئيسى (مصدر الجهد) .
٢ – مسخن (فرن تجفيف فى هذه الحالة) .

الحـــل

$$م = \frac{ج}{ت} \text{ ، } م = \frac{١١٠}{١٨,٥} \text{ ، } م = ٥,٩٤ \ \Omega$$

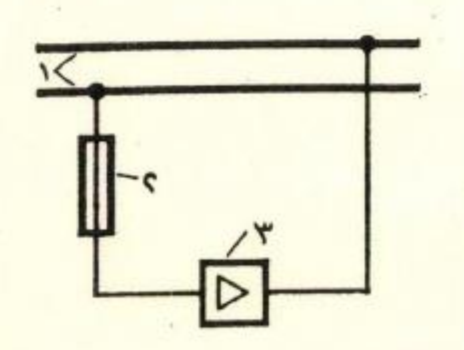
تكون قيمة مقاومة المسخن م = ٥,٩٤ Ω

مثـــال :

هل يكفى مصهر مقننه أمبير واحد ، للاستخدام فى مكبر ، موصل على مصدر للجهد ج ٢٢٠ فلط . ومقاومته م ٢٨٠ Ω (الشكل ٤٢) ؟

المعطيات : ج = ٢٢٠ فلط
م = ٢٨٠ أوم

المطلوب : شدة التيـــار



شكل ٤٢ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ – مأخذ رئيسى (مصدر للجهد) .
٢ – مصهر .
٣ – مكبر .

الحـــل :

$$ت = \frac{ج}{م} \text{ ، } ت = \frac{٢٢٠}{٢٨٠} \text{ ، } ت = ٠,٨ \text{ أمبير}$$

شدة التيار بالتقريب هى ٠,٨ أمبير .

لذا يكفى له مصهر مقننه أمبير واحد .

مثـــال :

تركيبات كهربائية تعمل على جهد تشغيل قدره ٢٢٠ فلط ، ومقاومتها ٢,٣١ Ω .
فما شدة التيار ت التى يتحملها المصهر اللازم لوقاية هذه التركيبات ؟

المعطيات ج = ٢٢٠ فلط
م = ٢,٣١ Ω

المطلوب : شـــدة التيـــار ت

شكل ٤٣ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ – مأخذ رئيسى (مصدر للجهد) .

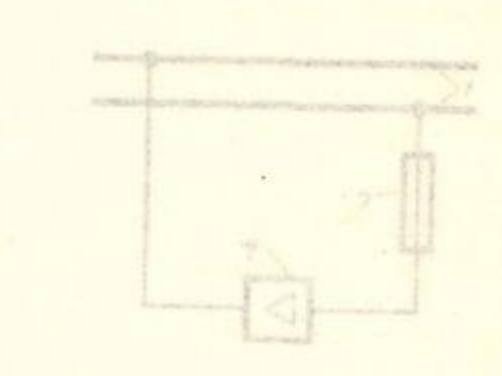
٢ – مصهر .

٣ – مقاوم .

الحـــل :

$$ت = \frac{ج}{م} \quad ، \quad ت = \frac{٢٢٠}{٢,٣١} \quad ، \quad ت = ٩,٥٢ \text{ أمبير}$$

يتحمل المصهر تيارا كهربائيا شدته ١٠ أمبير لوقاية هذه التركيبات .



الفصل السادس

مواد الموصلات — ومواد المقاومات — والمواد العازلة

يطلق على المواد التى توصل التيار الكهربائى ، بصفة عامة ، موصلات – على حين يطلق على المواد التى لا توصل التيار الكهربائى ، عند درجة حرارة محيطة قدرها ٢٠° م ، مواد غير موصلة أو عوازل . وعادة تصنف المواد طبقا للموصلية الكهربائية على الوجه التـــالى :

موصل – شبه موصل – غير موصل ، أو مواد موصلات – مواد مقاومات – مواد عازلة .

ويبين كل من هذين التصنيفين قصورا فى المعنى المقصود منه ، وبالأخذ فى الاعتبار لمـــا يهدف إليه هذا الكتاب ، نجد أن التصنيف الأخير هو المفيد ، وذلك بالرغم من أنه لا يشتمل على المجموعة الأكثر أهمية من الناحية الفنية ، والتى تدعو للاهتمام فى الفيزياء الكهربائية ، وهى مجموعة « شبه الموصلات » . وعلى كل فإننا سوف نتناول مجموعة شبه الموصلات ضمن موضوعات أخـــرى وهى المقومات الترانزستور .

ويبنى تصنيف المواد إلى مواد موصلات ومواد مقاومات ومواد عازلة ، على الاستخدام المطلوب لها فى الهندسة الكهربائية .وتعتبر ببساطة مواد الموصلات ومواد المقاومات من الناحية الفيزيائية الكهربائية ، موصلات ، بينما تعتبر المواد العازلة غير موصلات .

وتستخدم المعادن وسبائكها كمواد موصلات أو مواد مقاومات . ويستخدم الكربون كذلك وخاصة بعض أشكاله المعدلة مثل الجرافيت كمواد مقاومات .

وفيما يلى مناقشة الفروق بين مواد الموصلات ومواد المقومات والمواد العازلة ، مع أخذ تصرفها كهربائيا فى الاعتبار .

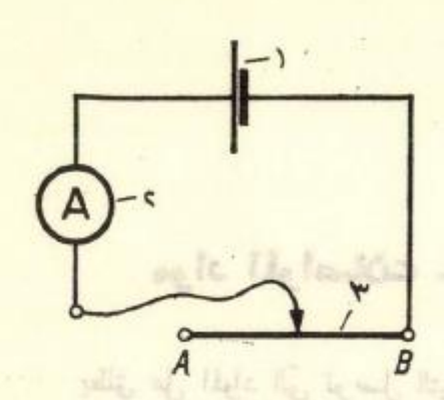
٦-١ – العلاقة بين المقاومة (م) والطول (ل) ومساحة القطع المستعرض (ج) للموصل :

(ا) العلاقة بين مقاومة موصل وطوله :

يمكن تحديد العلاقة بين مقاومة موصل وطوله بسهولة ، وذلك بمساعدة ترتيبة الاختبار الموضح رسم دائرتها بالشكل (٤٤) . وينصح باستخدام سلك مقاومة طوله متر واحد ، من ملف تسخين كهربائى .

ويوصل السلك المقاوم بين نقطتى أ ، ب (الشكل ٤٤) وتشغل الترتيبة .

شكل ٤٤ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل (م) وطوله (ل) .



١ – مصدر للجهد (حوالى ٢ فلط) .
٢ – أميتر (يقيس حوالى ٣ أمبير) .
٣ – سلك مقاوم طوله متر واحد .

ويبين الأميتر قيمة تطلق عليها هنا (س) ، وعلى هذا تكون :

القيمة المبينة	طول سلك المقاومة
س	١ متر

ثم يجرى التوصيل بين الأميتر ونقطة فى منتصف سلك المقاومة أ ب – نجد أن قراءة الأميتر تصبح ضعف القيمة السابقة .

وعلى هذا تكون :

القيمة المبينة	طول سلك المقاومة
٢ س	$\frac{١}{٢}$ متر

وبتكرار هذه العملية ينتج ما يلى :

القيمة المبينة	طول سلك المقاومة
٤ س	$\frac{١}{٤}$ متر

ويتضح عمليا أن هناك علاقة بين القيمة المبينة وطول سلك المقاومة . وعلى هذا يمكن التوصل إلى النتيجة التالية :

١ – تزداد المقاومة كهربائية (م) بزيادة طول الموصل (ل) .
٢ – تتناسب قيمة المقاومة الكهربائية (م) تناسبا طرديا مع طول الموصل .

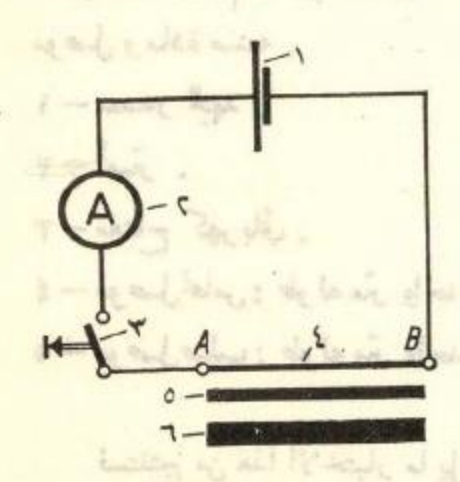
م $\propto$ ل

(ب) العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض :

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض ، وذلك بمساعدة ترتيبة الاختبار الموضحة بالشكل (٤٥) . ويوصى هنا باستخدام ثلاثة موصلات من نفس المادة ومساحة مقطعها المستعرض ١ مم^{٢} ، ٢ مم^{٢} ، ٤ مم^{٢} ، ولها نفس الأطوال .

وبتسجيل قراءة المبين عندما نوصل أى من هذه الموصلات الثلاثة فى الدائرة ، نحصل على النتيجة التـــالية :

القيمة المبينـــة	مساحة المقطع المستعرض للموصل
س	١ مم^{٢}
٢ س	٢ مم^{٢}
٤ س	٤ مم^{٢}



شكل ٤٥ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل (م) ومساحة مقطعه المستعرض (جـ) .

١ – مصدر الجهد .

٢ – أميتر .

٣ – مفتاح كهربائى .

٤ – موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم^{٢}.

٥ – موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٢ مم^{٢}.

٦ – موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٤ مم^{٢}.

نستنتج ما يلى :

١ – تقل المقاومة الكهربائية لموصل بزيادة مساحة مقطعه المستعرض (وعلى ذلك يسمح بمرور تيار كهربائى شدته أعلى) .

٢ – تتناسب المقاومة الكهربائية (م) لموصل تناسبا عكسيا مع مساحة مقطعه المستعرض (جـ) .

إدماج هاتين العلاقتين :

تتبعا لقانون أوم يمكن استنتاج ما يـــلى :

$$م \propto ل \quad ، \quad م \propto \frac{١}{جـ}$$

أى أن

$$م \propto \frac{ل}{جـ}$$

وهذا يعنى أن المقاومة تتناسب تناسبا طرديا مع طول الموصل وعكسيا مع مساحة مقطعه المستعرض :

٢/٦ – المقاومية والموصلية :

(ا) المقـاومية :

تبنى العلاقات السابقة على الأبعاد الهندسية (الطول ومساحة المقطع المستعرض) ، والمقاومات لموصلات من نفس النوع . وعلى ذلك يكون من المفروض ضمنا إيجاد العلاقة بين المقاومة الكهربائية (م) لموصل ، وبين مادته التى يصنع منها .

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين المقاومة الكهربائية ومادة صنعه ، بمساعدة ترتيبة الاختبار المبينة بالشكل (٤٦) . ويوصى باستخدام موصلين لهما نفس الأبعاد ، ولكن من مادتين مختلفتين .

شكل ٤٦ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل ومادة صنعه .

١ – مصدر الجهد .
٢ – أميتر .
٣ – مفتاح كهربائى .
٤ – موصل نحاس : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ م٢
٥ – موصل صلب : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ م٢

نستنتج من هذا الاختبار ما يلى :

١ – تكون شـدة التيار فى حالة إدخال موصل نحاس فى الدائرة مساوية ٨ مرات شدة التيار التى تمر فى موصل صلب له نفس الأبعاد عندما يوضع فى نفس الدائرة .

٢ – تختلف شدة التيار التى تمر فى الموصلات باختلاف مواد صنعها ، إذا أدخلت هذه الموصلات فى نفس الدائرة ، وكانت أبعادها واحدة .

لـكل مادة مقاومتها الكهربائية الخاصة بنوعها ، وتسمى « المقاومة النوعية للمادة » .

تسمى الخاصية التى تربط بين المقاومة النوعية لمـادة وأبعادها ل = ١ متر ، جـ = ١ م٢ ، « بمقاومية المـادة » وإذا رمزنا للمقاومية بالرمز ρ (رو) ، نجد أن المقاومة (م) تتناسب تناسبا طرديا مع المقاومية .

أى أن $م \propto \rho$

قانون المقاومة :

تدمج العلاقتان $م \propto \frac{ل}{جـ}$

$م \propto \rho$

لنحصل على قانون المقاومة :

$$م = \frac{\rho \times ل}{جـ}$$

ويعنى هذا القانون أن المقاومة الكهربائية لأى موصل ، تعتمد على مقاومية مادة صنعه وطوله ومساحة مقطعه المستعرض .

ولتحديد قيمة المقـاومية لأى موصل ، تحـل المعادلة $م = \frac{\rho \times ل}{جـ}$ لإيجـاد ρ

$$م = \frac{\rho \times ل}{جـ}$$ بتعديل طرفى المعادلة

$$\frac{\rho \times ل}{جـ} = م$$

$$\frac{\rho \times ل}{جـ} \times \frac{جـ}{ل} = م \times \frac{جـ}{ل}$$

بالاختصار فى الطرف الأيمن ينتج :

$$\rho = م \times \frac{جـ}{ل}$$ ل (بالمتر) ، جـ (بالمـليمتر المربع) .

وعندما تكون م بالأوم (Ω) ، ل (بالمتر) ، جـ (بالمليمتر المربع) نحصل على وحدة ρ بهذا الشكل $\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$

(ب) الموصلية :

فى حالات متعددة ، لا يكون قانون المقاومة بصيغته السابقة ملائما للعمليات الرياضية التى تتطلبها حسابات أطوال الموصلات ومساحات مقاطعها المستعرضة ومقاوماتها الكهربائية أو مقاوماتها النوعية .

ويفضل عـادة استخدام مقلوب قيمة المقاومية $\frac{1}{\rho}$ ،ويطلق عليه « الموصلية » ويرمز لهـا بالرمز χ (كابا) .

وعلى ذلك تكون الموصلية $\chi = \frac{1}{\rho}$

وتبعا لذلك تحسب المقاومة لأى موصل على أساس :

$$م = \frac{\rho \times ل}{جـ} \qquad أو \quad م = \frac{1}{\chi} \times \frac{ل}{جـ}$$

مثـــال :

مطلوب عمل ملف مقاومته = ٢٠٠ Ω . وإذا استخدم سلك من النحاس المعزول مساحة مقطعه المستعرض جـ = ٠,٠٢ مم^{2} وموصليته χ = ٥٦ ، احسب طول السلك المطلوب لهذا الملف بالأمتار .

المعطيات :

$$م = ٢٠٠ \ \Omega$$

$$جـ = ٠,٠٢ مم^{2}$$

$$\chi = ٥٦ \ \frac{م}{\Omega \ مم^{2}}$$

المطلوب : الطول ل بالأمتـــار

الحـــل :

من المعادلة :

$$م = \frac{ل}{\chi \ جـ}$$

$$\frac{ل}{\chi \ جـ} = م \qquad \text{بتبديل طرفى المعادلة}$$

$$\frac{ل \times \chi \ جـ}{\chi \ جـ} = م \times \chi \times جـ$$

بضرب كل من الطرفين فى χ جـ

وبالاختصار فى الطرف الأيمن ينتج أن :

$$ل = م \times \chi \times جـ$$

بالتعويض فى المعادلة الأخيرة

$$ل = ٢٠٠ \times ٥٦ \times ٠,٠٢$$

$$ل = ٢٤٤ \ متر$$

طول السلك المطلوب هو ٢٢٤ متر .

٣/٦ – مواد الموصلات :

(ا) مواد الموصلات وقيم مقاومتها :

اتضح لنا من الشرح السابق أن المقاومة النوعية لمواد الموصلات أقل من المقاومة النوعية للمقاومات أو المواد العازلة . علاوة على أن هناك عدة عوامل يجب أخذها فى الاعتبار عند اختيار المادة التى يصنع منها الموصل ، وهى متانته ، ومقاومته للتأثيرات الخارجية ، وإمكانية تصنيعه . ويوضح الجدول التالى مواد الموصلات الأكثر شيوعا للاستخدام فى الهندسة الكهربائية :

مادة الموصل	المقاومية ρ $\frac{\Omega\ مم^2}{م}$	الموصلية χ $\frac{م}{\Omega\ مم^2}$
فضة	٠,٠١٦٥	٦١
نحاس أحمر	٠,٠١٧٨	٥٦
ألومنيوم	٠,٠٢٨٧	٣٥
برونز	٠,٠١٨ إلى ٠,٠٥٦	٥٥ إلى ١٨
سبيكة الدرى	٠,٠٣٣	٣٠
صلب	٠,١٠ إلى ٠,١٥	١٠ إلى ٦,٦
رصاص	٠,٢١	٤,٨

وهذه القيم محسوبة عند درجة حرارة محيطة قدرها ٢٠° م ، ويلاحظ أن القيم المذكورة للموصلية والمقاومية ليست ثابتة بدرجة مطلقة ، حيث أنها تعتمد على النسبة المئوية لنقاء مادة الموصل .

(ب) وصف موجز لمواد الموصلات :

الفضة : ولها أعلى موصلية ولكنها لا تستخدم كمادة موصلات فى تركيبات القوى الكهربائية والتغذية ، وذلك نظرا لارتفاع سعرها وقلة متانتها الميكانيكية . ومع ذلك فقد تستخدم الفضة كعنصر صهر أو ملامسة فى مجموعة مفاتيح التشغيل الميكانيكية الكهربائية .

النحاس : ويعتبر المادة التقليدية للموصلات . وله كل الخواص الكهربائية والميكانيكية اللازمة للاستخدام فى الهندسة الكهربائية ، لذا أصبح النحاس مادة الموصلات المفضلة . ومنذ حوالى ٢٠ عاما ، بدأ الألومنيوم يحل محل النحاس تدريجيا فى خطوط نقل وتوزيع القدرة الكهربائية .

الألومنيوم : وقد أصبح مادة هامة للهندسة الكهربائية بعد تطوير العمليات الاقتصادية لإنتاجه ، إلى جانب خفة وزنه بالنسبة للنحاس . فمثلا ، يساوى وزن خط التوصيل الألومنيوم نصف وزن الخط النحاسى المساوى له فى المقاومة الكهربائيا بالرغم من أن مساحة المقطع المستعرض لخط الألومنيوم تكون أكبر . وبفضل استخدامه فى تكوين المكنات الكهربائية وأنظمة نقل القدرة الكهربائيــة .

البرونز : وهو سبيكة من النحاس . ولإنتاج موصلات مصنوعة منه، يضاف إلى النحاس ما قيمته ٣ فى المـائة من مكونات تشتمل على القصدير والمغنسيوم والزنك والسليكون والبوتاس والفوسفور .

وتستخدم الموصلات البرونز فى الأماكن التى تتعرض للتآكل الكثيف الناتج عن إجهادات ميكانيكية ، مثل خطوط الجــر الكهربائية (السكك الحديد الكهربائية والترام والترولى باس) وما شابههما ، والأجزاء الدوارة (المبدلات وحلقات الانزلاق) فى المكنات الكهربائية .

سبيكة الدرى : وهى سبيكة من الألومنيوم . ويتكون بإضافة كيات صغيرة من المغنسيوم والحديد والسليكون إلى الألومنيوم . ويؤدى هذا إلى تخفيض الموصلية من ١٠ إلى ١٥ فى المائة بمقارنتها مع الألومنيوم النقى ، ومع ذلك فهذا يؤدى إلى ازدياد مقاومة الشد بحوالى ٧٠ فى المـائة .

الصلب : ويندر استخدامه على حدة كمادة موصلة . وتستخدم أسلاك الصلب أساسا لتزيد من متانة خطوط نقل القدرة لجهد العالى . ولهذا الغرض فإنها تجدل مع موصلات الألومنيوم . وتستخدم القضبان الصلب فى بعض حالات الجــر الكهربائى كموصل رجوع لتكملة الدائرة .

الرصاص : وغالبا ما يستخدم كمادة موصلة فى المراكم التى تحتوى على أحماض (البطاريات) وتصنع أطراف توصيلها وموصلات خلاياها الداخلية من الرصاص (وذلك نظرا لمقاومته للاحماض) ويستخدم الرصاص كموصل تأريض فى الكبلات ذات أغلفة الرصاص .

٤/٦ – مواد المقاومة :

(ا) قيمتهـا ووصف موجز لهـا :

تستخدم مواد المقاومة فى صناعة المقاومات . ويبين الجدول التـالى بضع مواد مقاومة من الشائعة الاستخدام .

مادة المقاومة	المقاومية ρ $\frac{\Omega \text{ مم}^2}{\text{م}}$	الموصلية $\frac{\text{م}}{\Omega \text{ مم}^2}$
نيكولايت (ذرنجيد النيكل)	٠,٤٣	٢,٣
مانجنين	٠,٤٣	٢,٣
كونستنتان	٠,٥٠	٢,٠
نيكل كروم	١,٠	٠,٩١
مقاومات كربونية	٣٠	٠,٠٣٣

وبوجه عام ، يميز بين مواد المقاومة المعدنية ومواد المقاومة الخزفية . وتشتمل الأخيرة عادة على الأنواع الكربونية بالرغم من أنه يستخدم فيها جسم يكون عادة على شكل أنبوبة خزفية لحمل طبقة الكربون التى تكون مادة المقاومة .

تكون مواد المقارمة المعدنية الأكثر شيوعا فى الاستخدام عبارة عن سبائك وهى :

النيكولايت : ويتكون من ٥٤ فى المائة نحاس أحمر و ٢٦ فى المائة نيكل و ٢٠ فى المائة زنك .

المانجنين : ويتكون من ٨٦ فى المائة نحاس أحمر و ١٢ فى المائة مانجنيز و ٢ فى المائة نيكل .

الكونستنتان : ويتكون من ٥٨ فى المائة نحاس أحمر و ٤١ فى المائة نيكل و ١ فى المائة مانجنيز .

النيكل كروم : ويتكون من ٧٨ فى المائة نيكل و ٢٠ فى المائة كروم و ٢ فى المائة مانجنيز .

وتشكل هذه المواد على هيئة أشكال مستديرة أو مفلطحة وتعتبر مواد المقاومة هذه من المواد الأساسية فى صناعة أجهزة التسخين الكهربائية وأنواع كثيرة من المقاومات .

وتعتمد مواد المقاومة الخزفية أساسا على السليكون ، وتكون عادة ، على شكل أنابيب أو قضبان ، وتستخدم فى صناعة أجهزة التسخين الكهربائية كمقاومة تسخين .

(ب) أنواع المقاومات :

سنشرح هنا الأنواع المختلفة للمقاومة الأومية . ويطلق عليها هذه التسمية لتمييزها عن المقاومات الحثية والمقاومات السعوية . وتتمشى هذه الأنواع من المقاومات مع قوانين دائرة التيار المستمر .

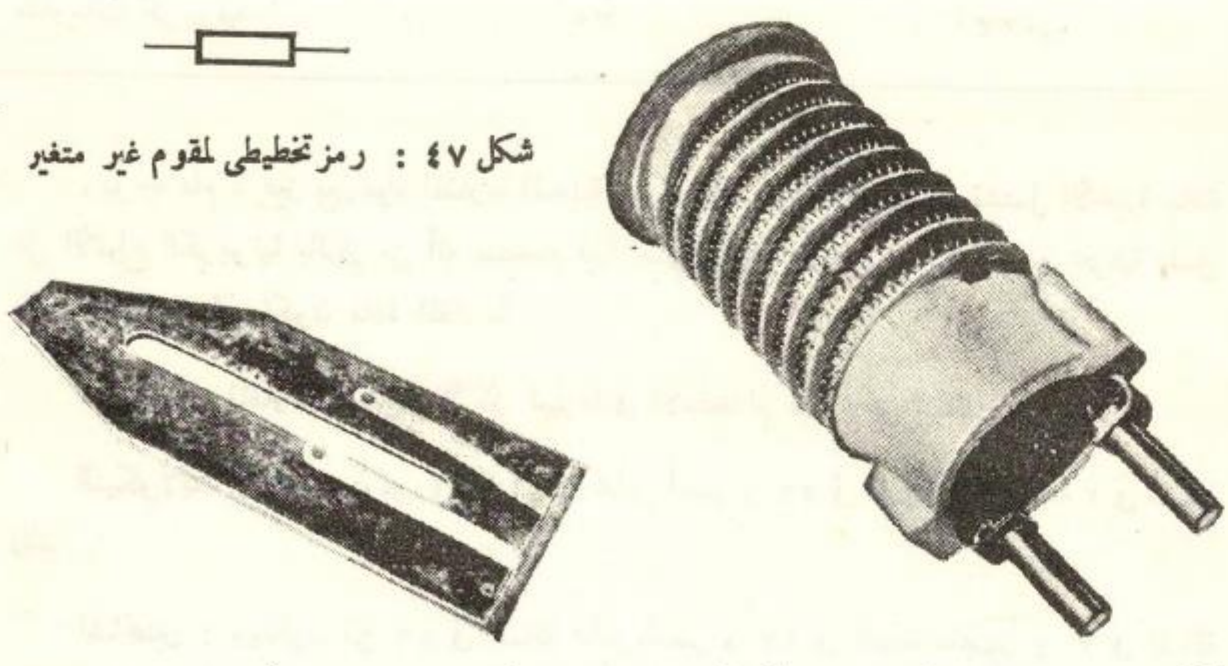
المقاومات الأومية ذات القيم غير المتغيرة :

يبين الشكل (٤٧) الرمز التخطيطي لمقاوم غير متغير .

ويبين الشكل (٤٨) مثالا لمقاوم تسخين فتيلي في مسخن بشكل قطع مكافئ .

ويبين الشكل (٤٩) مثالا لمقاوم تسخين فتيلي في مكواة كهربائية .

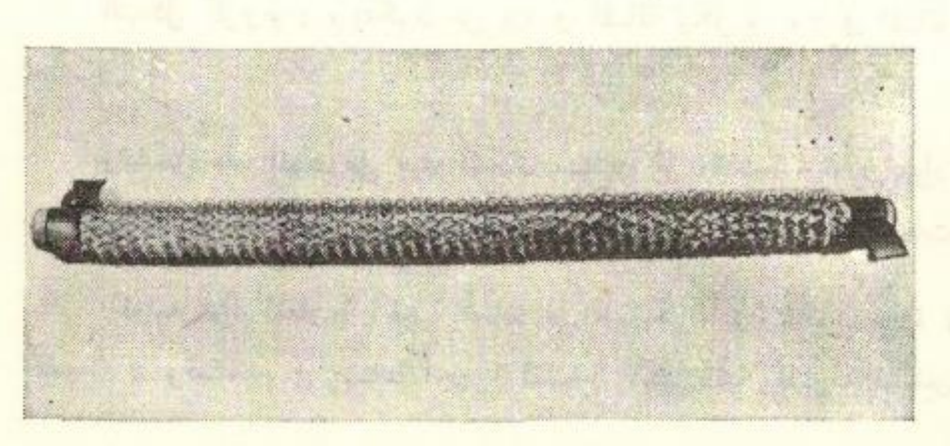
ويبين الشكل (٥٠) مثالا لمقاوم تسخين فتيلي لفرن تلدين (فرن تخمير) .



شكل ٤٧ : رمز تخطيطي لمقوم غير متغير

شكل ٤٩ : مقاوم فتيل تسخين لمكواة كهربائية VEB Elektroworme Sornewitz GDR

شكل ٤٨ : مسخن أو مقاوم فتيل تسخين لمسخن بشكل قطع مكافئ VEB Elektroworme Sornewitz GDR



شكل٥٠ : مقاوم فتيل تسخين لفرن تلدين . VEB Elektroworme Sornewitz GDR



شكل ٥٢ : مقاوم من النوع الكربونى لهندسة الراديو والتليفزيون .

شكل ٥١ : مقاوم توالى من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائى .

شكل ٥٢ : رمز تخطيطى لمقاوم متغير على خطوات :

ويمثل الشكل (٥١) رمزا تخطيطيا لمقاوم توالى من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائى .

ويمثل الشكل (٥٢) رمزا تخطيطيا لمقاوم من النوع الكربونى لهندسة الراديو والتليفزيون .

مقاومات متغيرة على خطوات :

يبين الشكل (٥٣) رمزا تخطيطيا لمقاوم متغير على خطوات ، ويبين الشكل (٥٤) رمزا تخطيطيا لمقاوم بدء دوران لمحرك كهربائى ، بينما التمثيل التخطيطى فى الشكل (٥٥) لطريقة تشغيل مقاوم من هذا النوع ، تزاد أو تخفض مقاومة المكافئة م على خطوات ، بواسطة مجموعة مفاتيح تشغيل .

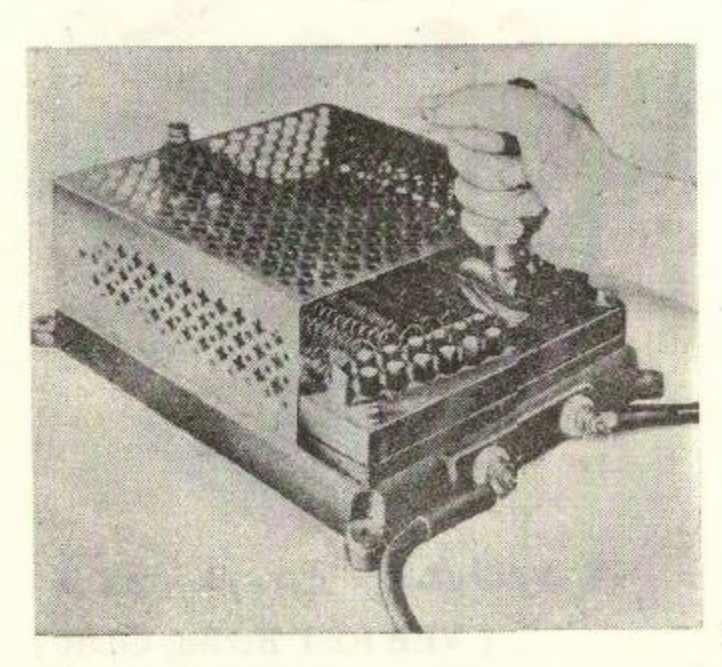
مقاومات متغيرة لا نهائية :

يبين الشكل (٥٦) الرمز التخطيطى لمقاوم متغير لا نهائى يعطى مقاومة أومية .

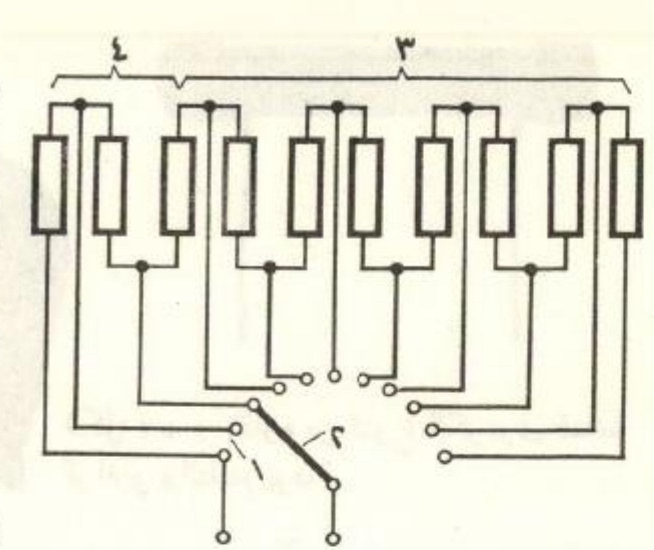
و الشكل (٥٧) لمقاوم منزلق .

والشكل (٥٨) لمقاوم دوار من السلك الملفوف .

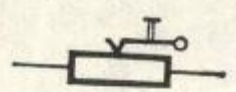
والشكل (٥٩) لمقاوم دوار من النوع الكربونى . ويطلق عادة على المقاوم الدوار مجزئ للجهد (بوتنشيومتر) .



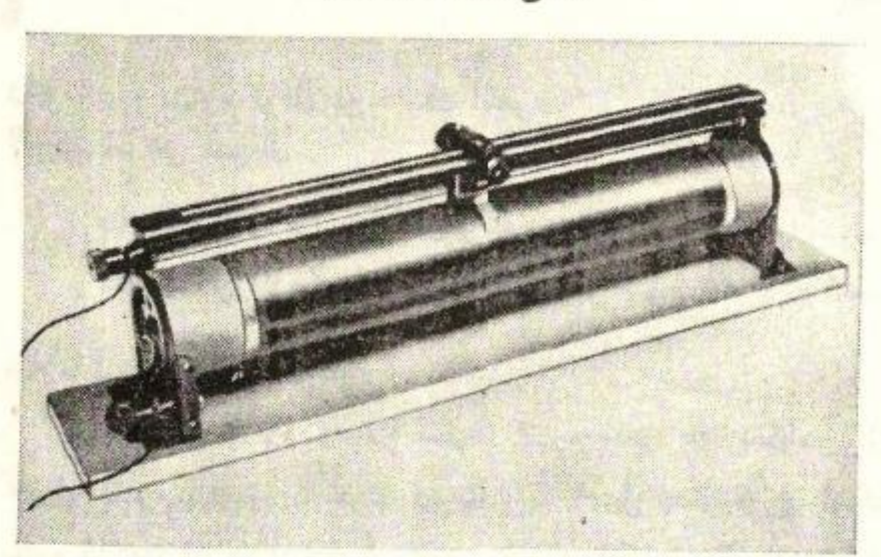
شكل ٥٤ : مقاوم بدء دوران محرك كهربائى :



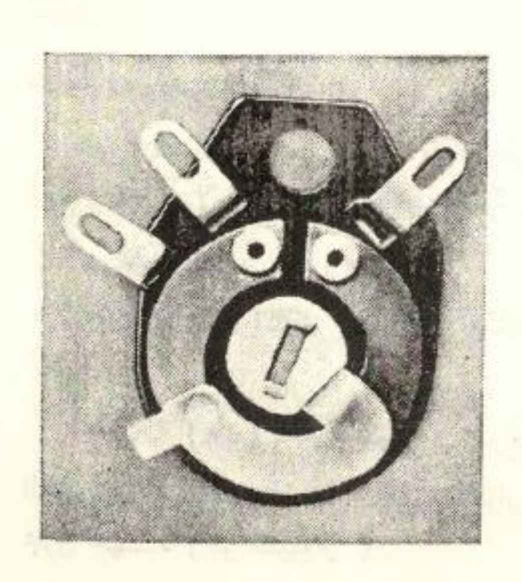
شكل ٥٥ : تمثيل تخطيطي لمقاوم بدء دوران :
١ – ممر الملامسات .
٢ – ملامس منزلق .
٣ – هذا الجزء من المقاوم ليس له أي تأثير على الدائرة نتيجة لوضع التشغيل المبين .
٤ – الجزء الفعال للمقاوم .



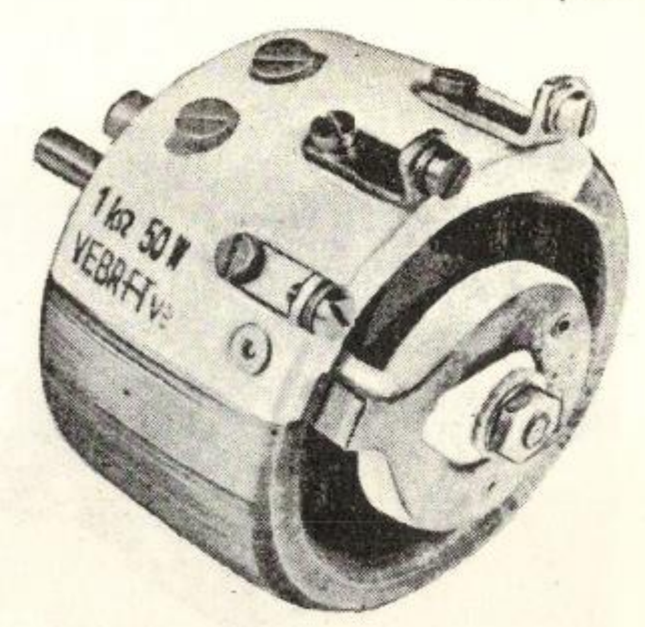
شكل ٥٦ : رمز تخطيطي لمقاوم متغير لانهائي يعطي مقاومة أومية :



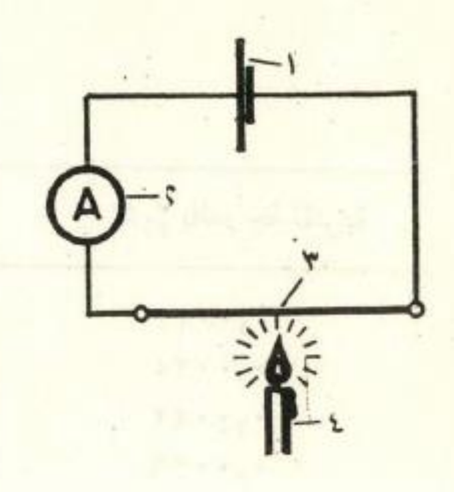
شكل ٥٧ :
مقاوم منزلق :



شكل ٥٩ : مقاوم دوار من النوع الكربوني :



شكل ٥٨ : مقاوم دوار من السلك الملفوف :
(VEB RET Berlin, GDR)



شكل ٦٠ : ترتيبة اختبار لتمثيل تأثير درجة الحرارة :
١ – مصدر الجهد .
٢ – أميتر .
٣ – سلك صلب .
٤ – مصدر الحرارة لهب غاز .

(ج) تأثير درجة الحرارة على المقاومة :

كانت مناقشاتنا السابقة فيما يتعلق بالمقاومات مبنية على أساس أن درجة الحرارة المحيطة ٢٠°م . ويمكن تحديد تأثير درجة الحرارة على المقاومات باستخدام ترتيبة اختبار كما هو موضح بالشكل (٦٠) وبإجراء القياسات التالية :

١ – عندما يكون السلك المقاوم دافئا .
٢ – عندما يكون السلك المقاوم عند درجة حرارة مرتفعة .
٣ – عندما يكون السلك المقاوم فى حالة الاحمرار .
نلاحظ أن المقاومة تزداد بازدياد درجة الحرارة .

وبإجراء اختبارات عديدة مماثلة ، نستخلص من النتائج التى نحصل عليها أن المقاومة تتغير بتغيير درجة الحرارة . وعموما ، تزداد مقاومة المعادن النقية برفع درجة حرارتها ، على حين تنقص مقاومة بضع سبائك بارتفاع درجة الحرارة (ويطبق هذا أيضا على السوائل الموصلة كهربائيا) .

المعامل الحرارى :

فى حالات كثيرة يكون من المهم معرفة القيمة الحقيقية للمقاومة عند درجة حرارة معينة . (تخيل ، مثلا ، أن مقاومات فتيل تسخين الصمامات الالكترونية تعتبر مقاومتها ، وبالتالى شدة تيارها ، ثابتة فقط بعد ارتفاع معين فى درجة الحرارة . ويعبر عن المعامل الحرارى بتأثير درجات الحرارة على المقاومة) .

المعامل الحرارى هو ثابت يعبر عن التغيير الذى تتعرض له مقاومة معينة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة ، بالنسبة لدرجة حرارة مبدئية ٢٠°م .

ويرمز للمعامل الحرارى بالرمز α (الفا) ، ووحدته $\frac{1}{°م}$. ولأخذ درجة الحرارة المبدئية فى الاعتبار يكتب المعامل الحرارى بالطريقة التالية : α_{20}

ويبين الجدول التـالى بضع معاملات الحـرارة :

المـادة	α_{20} بالدرجة المئوية	المـادة	α_{20} بالدرجة المئوية
فضـة	٠,٠٠٣٨	قصـدير	٠,٠٠٤٢
نحـاس	٠,٠٠٣٩٣	بلاتـين	٠,٠٠٢٥
الومنيوم	٠,٠٠٣٧٧	رصـاص	٠,٠٠٤٢
زنـك	٠,٠٠٣٧	سبيكة الدرى	٠,٠٠٣٦
نيـكل	من ٠,٠٠٣٧ إلى ٠,٠٠٦	نحاس أصفر	٠,٠٠١٥
حديد	من ٠,٠٠٤٥ إلى ٠,٠٠٦	نيكولايت	٠,٠٠٢٣
		منجانين	٠,٠٠٠٠١
		كونستنتان	٠,٠٠٠٠٣
		نيكل كروم	٠,٠٠٠١٠٠

وتبين الإشارة السالبة للمعامل الحرارى للكونستنتان أن مقاومته تقل بارتفاع درجة حرارته .

مثـال :

تشتمل معدات معمل تجفيف على مقاومات من سلك نيكولايت ، تسخن أسلاك المقاومة إلى ١١٠ م° . فما هى المقاومة الكهربائية لها عند هذه الدرجة ، إذا كانت مقاومتها عند درجة الحرارة المحيطة ٦٣ Ω (م ٢٠) ؟

المعطيات :

$$م_{20} = 63\ \Omega$$

$$\alpha_{20} = 0{,}0001\ \frac{1}{م°}$$

$$\Theta = 100\ م°$$

المطلوب : المقاومة عند درجة الحـرارة النهائية ($م_{\Theta}$) .

الحـل :

فيما يلى تعليق على المعادلة المستخدمة فى حل هذه المسألة ، وتصلح هذه الصيغة فقط حتّى مدى لدرجات الحـرارة يصل إلى ١٠٠ م° . ويعطى تطبيقها درجة مرضية من الدقة ، وقد اختصرت المعادلة هنا إلى صيغة أساسية ، ويمكن إثبات ذلك بعدة عوامل رياضية معروفة .

يحدد أولا ، الفرق فى درجة الحرارة ، Θ − ٢٠ م° . ثم يضرب فى المعامل الحرارى لمادة المقاومة . ويضاف إلى ناتج الضرب واحد صحيح . ينتج المعامل الذى تضرب فيه المقاومة عند درجة الحرارة المحيطة ، لتنتج قيمة المقاومة $م_{\Theta}$ عند درجة الحرارة النهائية ، وعلى هذا

$$م_{\Theta} = م_{٢٠} \left(١ + \alpha_{٢٠} \left(\Theta - ٢٠ م^{\circ} \right) \right)$$

$$= ٦٣ \left(١ + ٠,٠٠٠١ \frac{١}{م^{\circ}} \left(١٠٠ - ٢٠ م^{\circ} \right) \right)$$

$$= ٦٣ \left(١ + ٠,٠٠٠١ \frac{١}{م^{\circ}} \times ٨٠ م^{\circ} \right)$$

$$= ٦٣ \left(١,٠٠٨ \right)$$

$$= ٦٣,٥٠٤ \ \Omega$$

نلاحظ أن شدة التيار والجهد يتعرضان فى هذه الحالة ، إلى تغييرات طفيفة ، ولكنها غير ملحوظة فى حالة استخدام هذه المـادة فى المقاومات . ولكن عندما يستبدل النيكولايت بالنحاس ، الذى معامله الحرارى $\alpha_{٢٠}$ يساوى $٠,٠٠٣٩٣ \frac{١}{م^{\circ}}$

$م_{\Theta} = ٨٣,٨ \ \Omega$. وهذا يعنى زيادة فى المقاومة بحوالى الثلث تقريبا بالنسبة للقيمة المبدئية . ولذلك فإن شدة التيار والجهد يتعرضان لتغيرات كبيرة . ويطلق على مواد المقاومة ذات المعامل الحرارى السالب مثل الكونستنتان موصلات درجات الحرارة العالية أو « ثرمستور » ، ويستخدم فى صناعة فتيل التسخين للصمامات الالكترونيـة .

وتكون المقاومة صغيرة لفتيل التسخين فى أجهزة الاستقبال التى يطلق عليها (مستقبلات كل المـآخذ) ، والمعروفة بأجهزة الاستقبال للتيار المستمر والتيار المتردد ، وذلك عند لحظة تشغيلها . حيث يكون التيار المـار بها كبيرا ، مما يعرض الصمام لإجهادات تموجيه ، إلى أن ترتفع المقاومة بقدر كاف عندما تصل درجة حرارتها إلى درجة حرارة التشغيل . وبتوصيل مادة مقاومة معاملها الحرارى سالب من الكونستنتان إلى الدوائر التى يكون من خواصها أن مقاومتهـا تكون منخفضة عند بدء التشغيل (فتيل تسخين) ، ومقاومتها مرتفعة عند التشغيل المستقر . فينتج من ذلك ارتفاع فى مقاومة الفتيل ، وانخفاض فى المقاومة عند التشغيل المستقر . ويؤدى ذلك عمليا إلى ثبات التيار المـار بها . ويمكن استخدام تأثير درجة الحرارة على المقاومة فى قياس درجات الحرارة ، بقياس المقاومة . ويستخدم ذلك على سبيل المثال ، فى قياس الارتفاع فى درجة حرارة الملفات التى يراد اختبارها ، حيث يؤدى ارتفاع درجة حرارة لفيفاتها ، لقيمة غير مسموح بها ، إلى تلف العزل ، الذى يؤدى بدوره إلى انهيار المكنة الكهربائية .

٦/٥ – المواد العازلة :

(ا) تصنيف المواد العازلة :

تم اكتشاف وإنتاج عديد من مواد العزل ، فى مضمار تطوير الهندسة الكهربائية بأعداد كبيرة يصعب حصرها ، ويضاف إلى ذلك تسويق مواد عازلة من نفس المكون تحت أسماء تجارية مختلفة .
ويعطى التصنيف التالى حصرا لما يحتويه هذا المجال المتسع من المواد العازلة :

مواد طبيعية غير عضوية .

مواد طبيعية عضوية .

مواد عزل من الخزف والزجاج .

ورق – نسيج وزيت .

لدائن .

وتم هذا التصنيف طبقا لطبيعة المادة المصنوع منها هذه العوازل ، واستخداماتها المختلفة .

(ب) قيم المقاومة لمواد العزل :

يختلف تحديد المقاومية لمواد الموصلات ومواد المقاومات عنه فى مواد العزل ، حيث لا يعتمد تحديد المقاومية لمواد العزل على مساحة مقطع مستعرض مقدارها ١ م^2 وطول قدره ١ م . ولكن هذا التحديد يكون على أساس مكعب طول ضلعه متر واحد . وهذا هو تعريف الأوم .

مثال :

القيمة	الوحدة
١,١	$\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$
٠,٠١١	$\frac{\Omega \text{ سم}^2}{\text{م}}$
٠,٠٠٠١١	$\frac{\Omega \text{ ديسم}^2}{\text{م}}$
٠,٠٠٠٠٠١١	$\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$

ويمكن كتابة التعبير $\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$ بالطريقة التالية

$$\frac{\Omega \text{ م} \times \text{م}}{\text{م}}$$

وتصبح القيمة الأخيرة فى المثال السابق بعد الاختصار ٠,٠٠٠٠٠١١ Ω م .

ويوضح الجدول التالى بعض مواد العزل ومقادير مقاومات عزلها . وللتسهيل سوف تكتب الأرقام مرفوعة للأسس .

مثـــال :

يبين الجدول التـــالى مقاومة العزل للكوارتز ومقدارها ٤×١٠^{١٩} Ω م ويمكن كتابتها أيضا .

٤ × ١٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ Ω م أو ٤٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ Ω م

مادة العزل	مقاومة العزل Ω م
الـكوارتز	٤×١٠^{١٩}
الميـــكا	$١٠^{١٥} - ١٠^{١٦}$
الأســـبتوس	٢×١٠^{١٥}
المطاط الطبيعى	$١٠^{١٦}$
المطاط الصناعى	$١٠^{١٢}$
الصينى الصلد والمصقول	$١٠^{١٤} - ١٠^{١٥}$
الاستيتيت (حجر صناعى)	$١٠^{١٤} - ١٠^{١٥}$
الزجـــاج	$١٠^{١١} - ١٠^{١٤}$
الورق المشرب بالبرافين	$١٠^{١١} - ١٠^{١٢}$
الورق المضغوط	$١٠^{١٠} - ١٠^{١٤}$
زيت المحـــولات	$١٠^{١٢}$
تجهيزات خزفية خاصة	$١٠^{١٠} - ١٠^{١٥}$
اللـــدائن	$١٠^{١٢} - ١٠^{١٥}$

(ج) شرح موجز لمواد عازلة :

الـكوارتز : يستخدم كمادة عازلة فى اجهزة القياس ، وخاصة فى مجالات الترددات العالية . ويستخدم الكوارتز أيضا فى الأغراض التى يعرض فيها لدرجات حرارة عالية ، حيث أنه صامد للحـــرارة وغير حساس للتغيرات فى درجة الحـــرارة .

الميـــكا : ويمكن شطرها بسهولة إلى ألواح صغيرة . وتصلح كمادة عازلة فى المواسعات . وتستخدم الواح الميكا المغراة بعضها ببعض بمحلول الشيلاك (الميكاتيت) فى المبدلات ومقاومات التسخين ، اللازمة لمكنات والمسخنات الكهربائية .

الاسبستوس : ويستخدم أساسا فى المسخنات الكهربئية . وهو مادة ليفية تدخل فى إنتاج النسيج العازل . وتشتمل هذه الأنسجة أيضا ، على مواد ليفية أخرى تقلل من استقرارها الحرارى كمنتج نهائى .

القلفونية : وتنتج من الراتنج الطبيعى ، وتستخدم كمادة عزل إضافية للزيوت المعدنية ، أو تستخدم لتشريب الورق العازل المستخدم فى إنتاج الكبلات .

الشيلاك : وهو مادة راتنجية ، بدأ إنتاجه فى الهند ويستخدم بكثرة كمادة عازلة للفيفات المكنات الكهربائيـــة .

المطاط : يصنع من الكاوتشوك الطبيعى . ومن الأنفع استخدامه فيما بين درجتى الحـــرارة – ٣٠ م° ، + ٦٠ م° فقط . وهو حساس لمفعول الزيوت والبنزين . ويعتبر المطاط من المواد العازلة ذات الخصائص الكهربائية الجيدة . ويمكن تشكيله بسهولة .

الصينى : وينتج بأنواع متعددة كثيرة ، ويكون للصينى الصلد الذى يتكون من ٥٠ فى المـائة كاولين و ٢٥ فى المـائة كوارتز و ٢٥ فى المائة فلسبار ، أهمية عملية فى الهندسة الكهربائية . وتصنع منه عادة العوازل المستخدمة فى الخطوط الهوائية لنقل القدرة الكهربائية للجهد العالى ، كما يصنع منه العوازل النفاذى للمحولات .

الاستيتيت : (ويعرف أيضا بالحجر الصابونى) ويشبه الصينى . ومتانته أعلى منه وخواصه الكهربائية أفضل منه . ويلزم لإنتاج ملفات الترددات العالية .

الزجاج : يندر استخدامه فى الهندسة الكهربائية ، نظرا لمقاومته المنخفضة لتغييرات درجة الحرارة . وقد تستخدم الخيوط الزجاجية فى بعض الأحيان بدلا من الاسبستوس ، نظرا لاستقرارها الحـــرارى العالى . ونستخدم العوازل الزجاجية أحيانا فى البلاد التى تكون درجة حرارتها ثابتة نسبيا .

الورق : يستخدم فى الهندسة الكهربائية إما غير مشرب فى إنتاج كبلات الجهد المنخفض ، أو مشرب بالزيت أو البرافين لأغراض الجهد العـــالى .

الورق المضغوط : وهو ورق يعرض لضغط عالى أثناء تصنيعه . ويستخدم لعمل إطارات الملفات فى المحولات الصغيرة ، ولملء الفراغات فى العضو الدوار أو العضو الساكن للمكنات الـكهربائيـــة .

الورق المقوى : أو ورق مكون من رقائق ، ويصنع من طبقات من الورق تشرب براتنج وتعرض لضغط يصل إلى ٥٠٠ جوى (كجم/سم^{٢}) عند درجة حرارة قدرها ١٢٠ م° . ويوجد الورق المقوى بسمك يتراوح بين ٠٫١ مم و ١٥٠ مم .

نسيج مكون من رقائق : يصنع من طبقات من النسيج مشربة براتنج بطريقة تشابه تلك المستخدمة لإنتاج الورق المقوى . وتصنع من الحرير الصناعى أو الكتان أو القطن أو خيوط الزجاج . ويمكن الحصول عليه تجاريا بسمك فيما بين ٠٫٥ مم و ٣٠٠ مم . وخواصه الميكانيكية أحسن من خواص الورق المقوى .

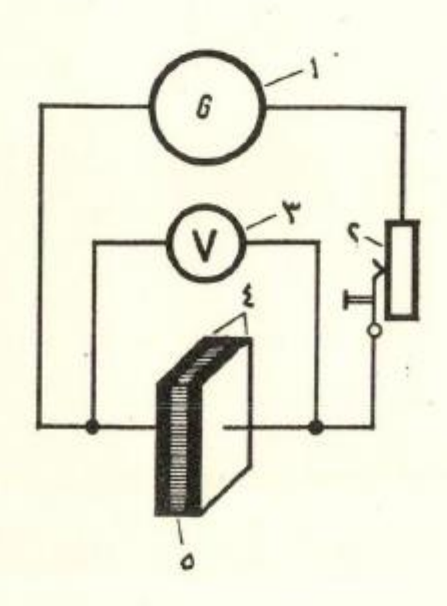
الأنسجة العازلة : وتكون غالبا من شراط القطن أو الحرير الصناعى بعرض بين ٥ مم و ٣٠ مم ، وتستخدم أحيانا مشربة بالزيت فى رباط الكبلات والملفات المحصرة .

الزيوت العازلة : وتستخدم فى الهندسة الكهربائية كمواد عازلة . وكوسيلة لتبديد الحرارة ، وتستخدم الزيوت المعدنية خاصة فى هذه الأغراض .

اللدائن : وقد حلت محل كثير من المواد العازلة المعروفة ، وأصبحت تستخدم على نطاق واسع . وتنقسم اللدائن إلى مجموعتين مختلفتين تبعا لتصرفهما بالنسبة للحرارة وهما : لدائن حرارية وأخرى مصلدة حراريا thermoplastic & thermosetting plastic . ويمكن تليين اللدائن الحرارية مرة ثانية بالتسخين ، وتستخدم كشرائط أو أغلفة عازلة للموصلات . ومن خواص اللدائن المصلدة حراريا دوام صلادتها وجسوءتها بالتسخين ، وتستخدم فى ألواح قواعد المكثات ، وأغلفة المعدات ، وصناديق التوزيع والتحكم وخلافه .

(د) متانة الوسط الكهربائى العازل :

يعتمد استخدام المـــادة العازلة بدرجة كبيرة على متانة وسطها الكهربائى العازل ، ويعرف بالعلاقة بين الجهد المسلط وسمك المـــادة العازلة . والشكل (٦١) مثال لرسم الدائرة لتحديد متانة الوسط الكهربائى العازل لمواد عازلة .



شكل ٦١ : دائرة اختبار لتمثيل متانة الوسط الكهربائى العازل :
١ – مولد جهد عال .　　٤ – لوح معدنى .
٢ – مقاوم متغير .　　٥ – عينة اختبار .
٣ – فلطمتر .

تربط قطعة من العازل المراد اختباره سمكها ١ م بين لوحين معدنيين . ويضبط الجهد المسلط عليهما من مولد جهد عال بواسطة مقاوم متغير . ويقاس هذا الجهد بلفطمتر . وعند قيمة معينة للجهد ؛ يحدث توصيل كهربائى بين اللوحين المعدنيين على هيئة شرارة ، وتخترق المـــادة العازلة . فإذا وضع مثلا ، لوح من بلاستيك كلوريد عديد الفينيل (PVC) ، سمكه ١ م بين هذين اللوحين فيلزم تسليط جهد قيمته حوالى ٩٥٠٠٠ فلط (٩٥ كيلو فلط) عليهما حتى يتمكن التيار الكهربائى من إحداث شرارة خلال مادة البلاستيك .

ويبين الجدول التـــالى قائمة بمتانة الوسط الكهربائى العازل لبضع مواد عازلة :

المواد العازلة	متانة اوسط الكهربائى العازل كيلوفلط / مم
كوارتز	٣٥
ميكا	٢٥–٣٥
ورق مضغوط	٦ –٢٢
ربت محولات	٨ –١٢

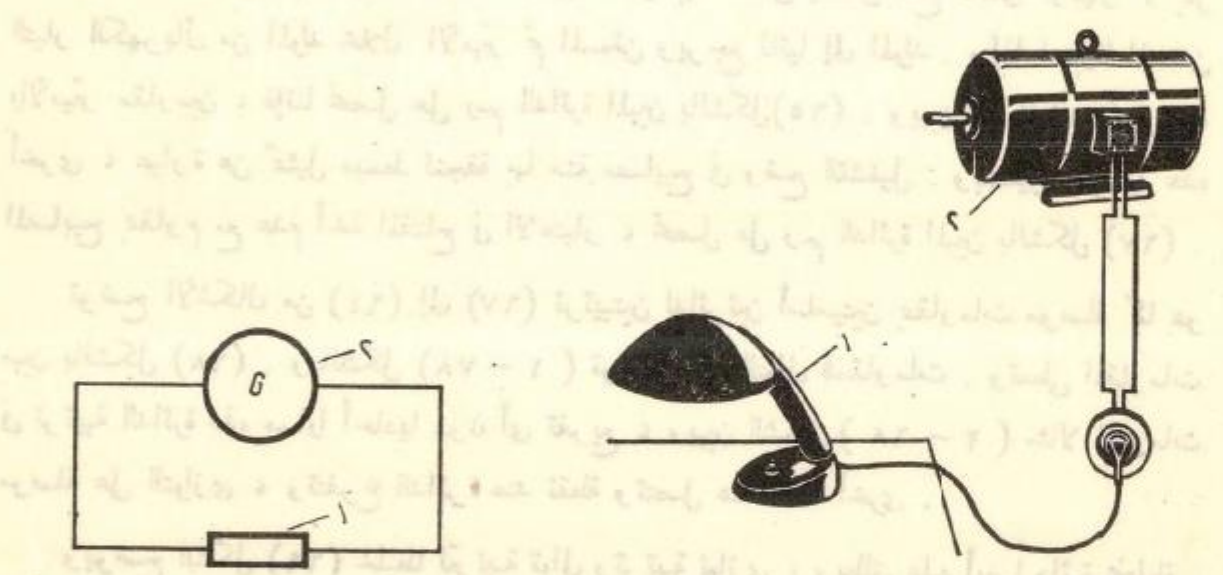
الفصل السابع

دوائر بسيطة وشبكيات كهربائية

فيما يختص بإعطاء تعاريف أكثر دقة لبضعة مصطلحات متعلقة بالدوائر الكهربائية ، ذكرنا فيما سبق أن الأجهزة الكهربائية تسمى محولات طاقة ، حيث يعتمد أداؤها على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . ونعطى هنا نموذجا لدوائر تشتمل على عدة محولات ، فمثلا تتوهج عدة مصابيح كهربائية ، بينما تكون أجهزة الراديو والتليفزيون فى حالة تشغيل . ويشغل مسخن ماء كهربائى ، بينما يقوم محرك ثلاجة كهربائية بإدارة كباس ، كل ذلك يحدث فى نفس الطابق . ويمكن اعتبار كل هذه المحولات للطاقة مقاومات فى دائرة معينة مقاومتها (م) .

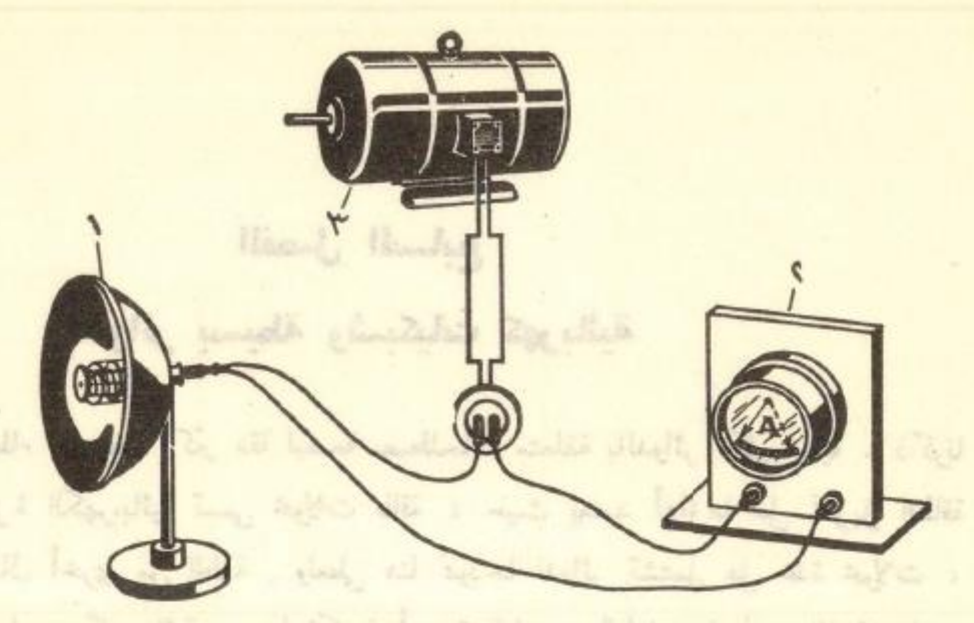
٧/١ – الطرق المختلفة لتوصيل المقاومات :

يبين التمثيل التخطيطى بالشكل (٦٢) مسار التيار الكهربائى من مولد إلى مصباح كهربائى (أباجورة) ، ثم رجوعا إلى المولد . وإذا اعتبرنا المصباح الكهربائى مقاوما ، فإننا نحصل على رسم الدائرة الموضح بالشكل (٦٣) .

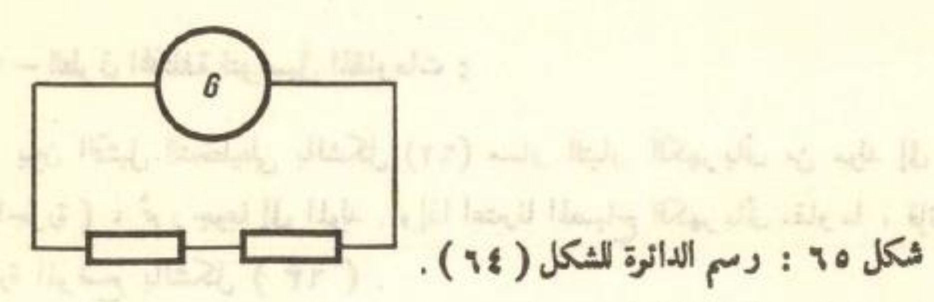


شكل ٦٢ : تمثيل مبسط لترتيبة بها مولد ومصباح :
١ – مصباح منضدة .
٢ – مولد .

شكل ٦٣ : رسم الدائرة للشكل (٦٢) .
١ – مصباح منضدة ممثل بمقاوم .
٢ – مولد .



شكل ٦٤ : تمثيل مبسط لترتيبة دائرة بها مولد وأميتر ومسخن بشكل قطع مكافئ .
١ – مسخن بشكل قطع مكافئ . ٢ – أميتر . ٣ – مولد .

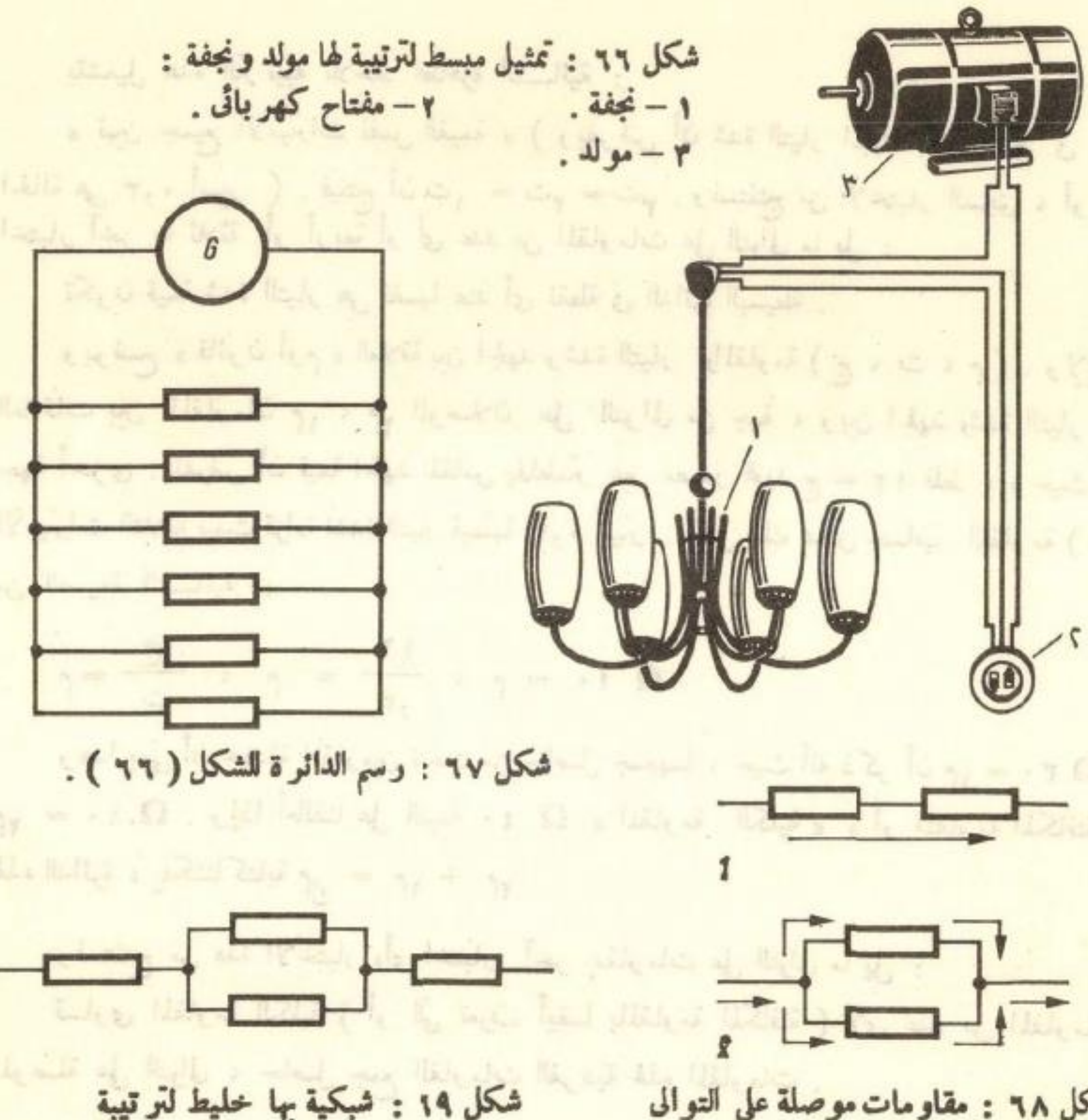


شكل ٦٥ : رسم الدائرة للشكل (٦٤) .

يبين الشكل (٦٤) تمثيلا تخطيطيا لترتيبة دائرة بها مسخن بشكل قطع مكافئ وأميتر ، يمر التيار الكهربائى من المولد خلال الأميتر ثم المسخن ويرجع ثانيا إلى المولد . وإذا اعتبرنا المسخن والأميتر مقاومين ، فإننا نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل(٦٥) . ويبين الشكل(٦٦) ترتيبة أخرى ، عبارة عن تمثيل مبسط لنجفة بها ستة مصابيح فى وضع التشغيل . وبتمثيل كل من هذه المصابيح بمقاوم مع عدم أخذ المفتاح فى الاعتبار ، نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل (٦٧) .

توضح الأشكال من (٦٤) إلى (٦٧) ترتيبتين لدائرتين أساسيتين بمقاومات موصلة كما هو مبين بالشكل (٦٨) . وبالشكل (٧٨ – ١) توصيل على التوالى للمقاومات . وتعطى المقاومات فى ترتيبة الدائرة هذه مسارا أحاديا دون أى تفريع ، ويبين الشكل (٦٨ – ٢) مثالا لمقاومات موصلة على التوازى ، وتتفرع الدائرة عند نقطة وتتصل عند نقطة أخرى .

ويوضح الشكل (٦٩) خليطا لترتيبة توالى وترتيبة توازى ، ويطلق عليه أيضا دائرة مختلطة . إذا كانت جميع المقاومات موصلة على التوالى فى دائرة معينة ، فيطلق على هذه الدائرة « دائرة بسيطة » ، بينما يطلق على الدائرة التى توصل بها المقاومات على التوازى ، أو على التوازى والتوالى معا « شبكية » . وفيما يلى شرح لحالات الجهد والتيار والمقاومة فى الدوائر البسيطة والشبكيات :



شكل ٦٦ : تمثيل مبسط لترتيبة لها مولد ونجفة :
١ – نجفة . ٢ – مفتاح كهربائى .
٣ – مولد .

شكل ٦٧ : رسم الدائرة للشكل (٦٦) .

شكل ٦٨ : مقاومات موصلة على التوالى ومقاومات موصلة على التوازى :
١ – دائرة توالى . ٢ – دائرة توازى .

شكل ٦٩ : شبكية بها خليط لترتيبة توصيل توالى وتوازى معا :

٧/٢ – الدوائر البسيطة :

يبين الشكل (٧٠) رسما لدائرة بسيطة ، بها مقاومتان موصلتان على التوالى ، م١ = ٣٠ Ω ، م٢ = ١٠ Ω . ووضع بالدائرة ثلاثة أميترات عند ثلاثة مواضع . وقد استعملت هذه الاميترات لتبين شدة التيار ت١ ، ت٢ ، ت٣ عند هذه المواضع الثلاث فى الدائرة.

شكل ٧٠ : دائرة بسيطة تشمل مقاومتين :
١ – مصدر الجهد . ٢ – أميتر .
٣ – مقاومة م١ ٤ – مقاومة م٢

بتشغيل هذه الترتيبة نلاحظ الظاهرة التـــالية :

« تبين جميع الاميترات نفس القيمة » (وبفرض أن شدة التيار المبينة بكل أميتر فى هذه الحالة هى ٠٫٣ أمبير) . فينتج أن ت١ = ت٢ = ت٣ . ونستنتج من الاختبار السابق ، أو أى اختبار آخر به ثلاثة أو أربعة أو أى عدد من المقاومات على التوالى ما يلى :

تكون قيمة شدة التيار هى نفسها عند أى نقطة فى الدائرة البسيطة .

ويوضح « قانون أوم » العلاقة بين الجهد وشدة التيار والمقاومة (ج ، ت ، م) . ولإيجاد العلاقات بين المقاومان م١ ، م٢ الموصلان على التوالى من جهة ، وبين الجهد وشدة التيار من جهة أخرى . نفرض أن قيمة الجهد المقاس بفلطمتر عبر مصدر للجهد ج = ١٢ فلط ، وحيث أن الأميترات الثلاثة بينت قراءة لشدة التيار قيمتها ٠٫٣ أمبير . وعلى ذلك يمكن حساب المقاومة (م) من الصيغة التـــالية :

$$م = \frac{ج}{ت} \quad ، \quad م = \frac{١٢}{٠٫٣} \quad ، \quad م = ٤٠ \ \Omega$$

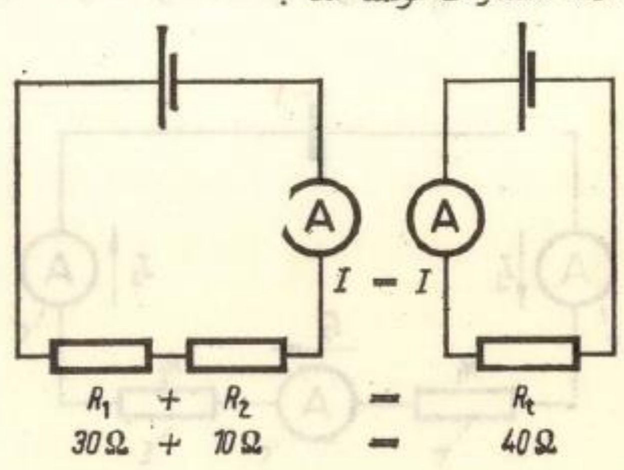
وهذا يعنى أن محصلة المقاومين نتجت من حاصل جمعهما ، حيث أنه ذكر أن م١ = ٣٠ Ω ، م٢ = ١٠ Ω . وإذا أطلقنا على القيمة ٤٠ Ω « المقاومة الكلية » « أو المقاومة المكافئة » لهذه الدائرة ، يمكننا كتابة مك = م١ + م٢

ونستنتج من هذا الاختبار وأى اختبار آخر بمقاومات على التوالى ما يلى :

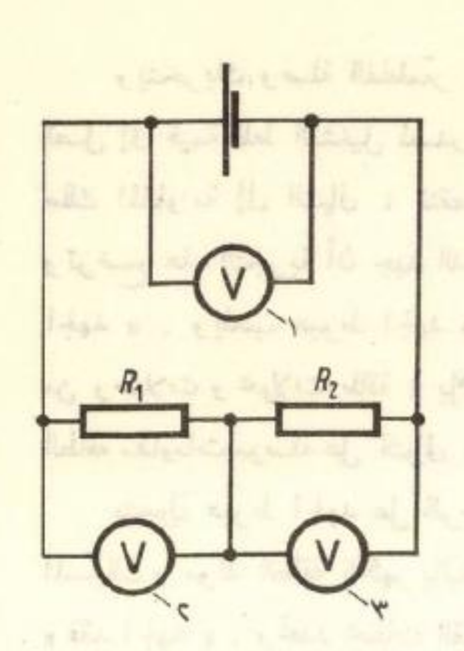
تساوى المقاومة الكلية (أو التى تعرف أيضا بالمقاومة المكافئة) لأى عدد من المقاومات الموصلة على التوالى ، حاصل جمع المقاومات الفردية لهذه المقاومات .

وكذلك أيضـــا :

تكون قيمة المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة على التوالى دائما أعلى من أعلى مقاومة على حدة فى هذه المقاومات . ويستخدم الشكل (٧١) لبيان حالات ترتيبات دوائر التوالى . ويلى ذلك الخطوة الثانية لإيجاد اشتراطات الجهد فى الدائرة البسيطة . ويبين الشكل (٧٢) الدائرة السابقة وبها ثلاثة فلطمترات موصلة معا .



شكل ٧١ : يوضح العلاقة بين كل مقاومة على حدة والمقاومة المكافئة لترتيبة توالى :



شكل ٧٢ : دائرة اختبار تستعمل لقياس فروق الجهد فى دائرة بسيطة :
١ – فلطمتر (١) .   ٢ – فلطمتر (٢) .
٣ – فلطمتر (٣) .

عند تغذية ترتيبة الدائرة ، تبين الفلطمترات الثلاثة القراءات المختلفة التالية :

الفلطمتر (١)	١٢ فلط
الفلطمتر (٢)	٩ فلط
الفلطمتر (٣)	٣ فلط

وإذا رمزنا للجهد عبر المصدر بالرمز $ج_{ك}$ ، وكل من الجهدين الجزئيين على المقاومين $م_١$ ، $م_٢$ بالرمزين $ج_١$ ، $ج_٢$ ، يمكننا كتابة :

$$ج_{ك} = ج_١ + ج_٢$$

نظراً لأن ١٢ فلط = ٩ فلط + ٣ فلط .

وبإجراء أى عدد من التجارب لأى عدد من المقاومات الموصلة على التوالى ، نحصل على النتيجة التالية :

الجهد الإجمالى فى أى دائرة بسيطة يساوى مجموع الجهود الجزئية فى هذه الدائرة .

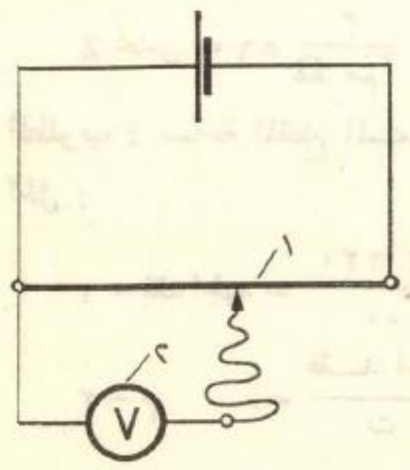
(ا) هبوط الجهد وفقد الجهد :

فى الشكل (٧٣–١) استبدل المقاومان ٣٠ Ω ، ١٠ Ω بقضيب من سلك مقاومته ٤٠ Ω ، ويوصل فلطمتر بالدائرة ، بطريقة يمكن بها عمل تلامس عند أى نقطة على سلك المقاومة بأحد طرفى وصلتى الفلطمتر ، بينما يثبت الطرف الآخر عند نقطة اتصال بداية سلك المقاومة بالدائرة .

عند توصيل طرف وصلة الفلطمتر المتحركة بمنتصف سلك المقاومة ، يبين الفلطمتر قراءة قيمتها ج = ٦ فلط . ويمكن تحديد هذه القيمة أيضا كما يلى :

$$ج = \frac{م_{ك} \times ت}{٢} \quad ، \quad ج = \frac{٤٠ \times ٠{,}٣ \text{ أمبير}}{٢}$$

$$ج = ٦ \text{ فلط}$$



شكل ٧٣ : هذا الشكل يساعد فى توضيح هبوط الجهد :
١ – سلك مقاومته م = ٤٠ Ω .
٢ – فلطمتر بوصلة متحركة .

وبتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى اليمين ، تزداد قراءة الفلطمتر تدريجيا حتى تصل إلى قيمة فلط التشغيل لمصدر الجهد ، أى ج = ١٢ فلط . وبتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى الشمال ، تنقص قراءة الفلطمتر تدريجيا إلى أن يبين الفلطمتر ج = صفر . وتوضح هذه التجربة أن جهد الدائرة يهبط تدريجيا على أى مقاوم فيها ، ويطلق على ذلك « هبوط الجهد » . ويلعب هبوط الجهد دورا هاما فى الهندسة الكهربائية . فتتكون أى ترتيبة كهربائية من وصلات ومحولات طاقة (بإهمال مصدر الجهد) . وعمليا تكون هذه الوصلات ومحولات الطاقة مقاومات موصلة على التوالى ، يهبط عبرها الجهد أيضا . ويوضح الشكل (٧٤) هذه الحقيقة .

يتحول هبوط الجهد على الوصلتين (م١ ، م٣) إلى حرارة ، أى يفقد بالنسبة لكل من المستهلك ومولد الطاقة الكهربائية . وعلى هذا يطلق على هبوط الجهد فى وصلات نظام كهربائى « فقد الجهد » . وتحدد محطات القوى الكهربائية « هبوط الجهد » وبالتالى « فقد الجهد » لأى نظام كهربائى معين . وتحدد قيمة « فقد الجهد » تماما فى نطاق الحدود المطلوبة بتحديد مساحة المقطع المستعرض المناسب للخطوط .

مثال :

محول طاقة ، تيار دخله ت = ١٢ أمبير ، موصل بمأخذ رئيسى تيار مستمر ، جهد تشغيله ج = ٢٢٠ فلط ، عند نقطة تبعد ١٢٥ مترا عن وصلة المأخذ ، ولا يتعدى هبوط الجهد المسموح به ٢ فى المائة من جهد التشغيل . ويستخدم النحاس لمادة توصيل . فما مساحة المقطع المستعرض للخط المطلوب تركيبه ؟

المعطيات :

ج = ٢٢٠ فلط .

فقد الجهد ٢ فى المائة

ت = ١٢ أمبير

ل = ٢ × ١٢٥ متر

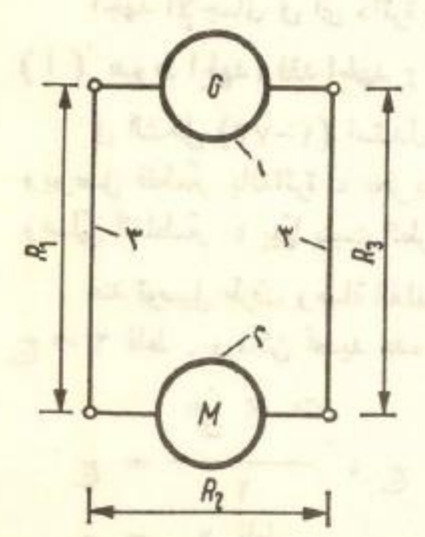
χ نحاس = ٥٦ $\frac{\text{م}}{\Omega \text{ مم}^{2}}$

المطلوب : مساحة المقطع المستعرض (جـ) للسلك .

الحل :

١ – فقد الجهد = $\frac{٢٢٠ \times ٢}{١٠٠}$ = ٤,٤ فلط

٢ – م = $\frac{\text{فقد الجهد}}{\text{ت}}$



شكل ٧٤ : أسلاك ومحولات تكون مقاومات فى الدائرة :
١ – مصدر الجهد (مولد) .
٢ – محرك طاقة (محرك كهربائى) .

م = $\frac{٤,٤}{١٢}$ = ٠,٣٦٧ Ω

٣ – المساحة (جـ) = $\frac{\text{ل}}{\chi \times \text{م}}$

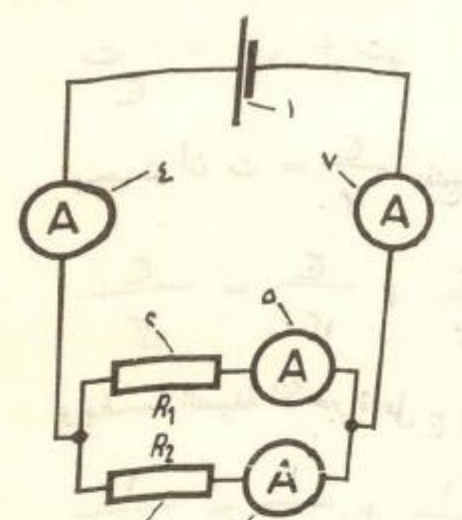
= $\frac{١٢٥ \times ٢}{٥٦ \times ٠,٣٦٧}$

= ١٢ مم

جـ

يكفى لهذا الخط مساحة مقطع مقدارها ١٢ مم٢

٣/٧ – الشبكيات : يبين الشكل (٧٥) مثالا لرسم الدائرة لشبكية مكونة من مقاومين م١ = ٣٠ Ω ، م٢ = ١٠ Ω موصلين على التوازى . ويدخل فى الدائرة أربع أميترات .



شكل ٧٥ : شبكة بمقاومين :
١ – مصدر الجهد .
٢ – مقاوم م١
٣ – مقاوم م٢
٤ – أميتر (١)
٥ – أميتر (٢) .
٦ – أميتر (٣) .
٧ – أميتر (٤) .

نلاحظ عند تشغيل هذه الترتيبة ما يلى : تبين الأميترات قيما مختلفة طبقا لما سبق شرحه فى الدائرة البسيطة . فيبين الأميتر (١) ، والأميتر (٤) ١,٦ أمبير ، بينما يبين الأميتر (٢) ٠,٤ أمبير والأميتر (٣) ١,٢ أمبير . ويجمع قيمتى شدة التيار للفرعين ت١ ، ت٢ اللتان تمران خلال المقاومان م١ ، م٢ نحصل على شدة التيار الإجمالية تج المبينة بالأميتر (١) والأميتر (٤) قبل وبعد التفريع . ونوجد قيمة شدتى التيار ت١ ، ت٢ فى كل من الفرعين فى الدائرة عند جهد قدره ج = ١٢ فلط كما يلى :

ت١ = $\frac{\text{ج}}{\text{م}_١}$ ، ت١ = $\frac{١٢ \text{ فلط}}{٣٠ \ \Omega}$ ، ت١ = ٠,٤ أمبير

ت٢ = $\frac{\text{ج}}{\text{م}_٢}$ ، ت٢ = $\frac{١٢}{١٠}$ ، ت٢ = ١,٢ أمبير .

وبذلك يمكن كتابة :

تج = ت١ + ت٢

وبإجراء عدة قياسات على عديد من مقاومات التوازى نحصل على نفس النتيجة التالية :

التيار الإجمالى فى الشبكية التى يمر بها عدة مقاومات موصلة على التوازى يساوى مجموع التيارات المارة فى فروع الدائرة .

ويمكن تحديد المقاومة المكافئة لمقاومين أو أكثر موصلين على التوازى . فنحدد أولا المقاومة المكافئة $م_ك$ للمثال السابق طبقا للشكل (٧٥) . ويمكن تحديد $م_ك$ بسهولة جدا فى حالة وجود أجهزة قياس :

$$م_ك = \frac{ج}{ت_ج} \quad ، \quad م_ك = \frac{١٢}{١٫٦}$$

$$م_ك = ٧٫٥ \ \Omega$$

ويمكن تعيين قيمة المقاومة المكافئة إذا عرفنا قيمة كل مقاومة على حدة . ونبدأ بالصيغة التالية :

$$ت_ج = ت_١ + ت_٢$$

وحيث أن $ت = \frac{ج}{م}$ ينتج أن :

$$\frac{ج}{م_ك} = \frac{ج}{م_١} + \frac{ج}{م_٢}$$

وبقسمة الصيغة الأخيرة على ج ينتج :

$$\frac{١}{م_ك} = \frac{١}{م_١} + \frac{١}{م_٢}$$

وهذا يعنى :

مقلوب المقاومة المكافئة لعدة مقاومات موصلة على التوازى يساوى مجموع مقلوب مقاومة كل مقاوم على حدة .

وتطبيقا على المثال السابق ينتج من هذا ما يلى :

$$\frac{١}{م_ك} = \frac{١}{٣٠} + \frac{١}{١٠}$$

$$\frac{١}{م_ك} + \frac{١}{٣٠} + \frac{٣}{٣٠} = \frac{٤}{٣٠ \ \Omega}$$

ومن مقلوب هذه الصيغة (برفع الصيغة للأس – ١) ينتج :

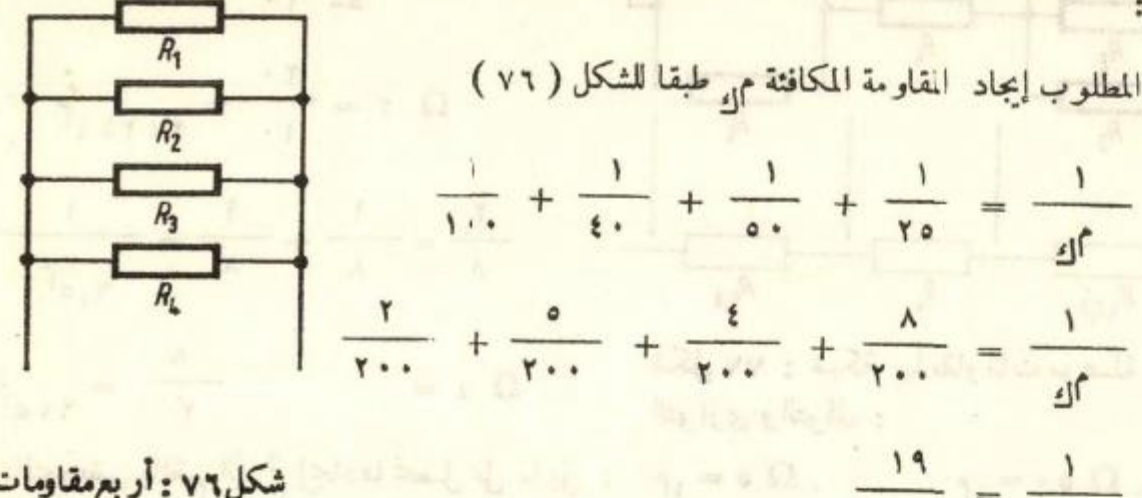
$$م_ك = \frac{٣٠ \ \Omega}{٤}$$

$$م_ك = ٧,٥ \ \Omega$$

وهذه هى نفس النتيجة التى تم الحصول عليها من الحسابات المبنية على الجهد وشدة التيار .

مثال :

المطلوب إيجاد المقاومة المكافئة $م_ك$ طبقا للشكل (٧٦)



$$\frac{١}{م_ك} = \frac{١}{٢٥} + \frac{١}{٥٠} + \frac{١}{٤٠} + \frac{١}{١٠٠}$$

$$\frac{١}{م_ك} = \frac{٨}{٢٠٠} + \frac{٤}{٢٠٠} + \frac{٥}{٢٠٠} + \frac{٢}{٢٠٠}$$

$$\frac{١}{م_ك} = \frac{١٩}{٢٠٠}$$

$$م_ك = \frac{٢٠٠}{١٩}$$

$$م_ك = ١٠,٥٣ \ \Omega$$

شكل ٧٦ : أربع مقاومات موصلة على التوازى :

$م_١ = ٢٥ \ \Omega$.
$م_٢ = ٥٠ \ \Omega$.
$م_٣ = ٤٠ \ \Omega$.
$م_٤ = ١٠٠ \ \Omega$.

وإذا أخذنا فى الاعتبار حالات الجهد فى الشبكيات ذات المقاومات الموصلة على التوازى ، نجد أن نفس الجهد يكون مسلطا على كل فرع به مقاوم .

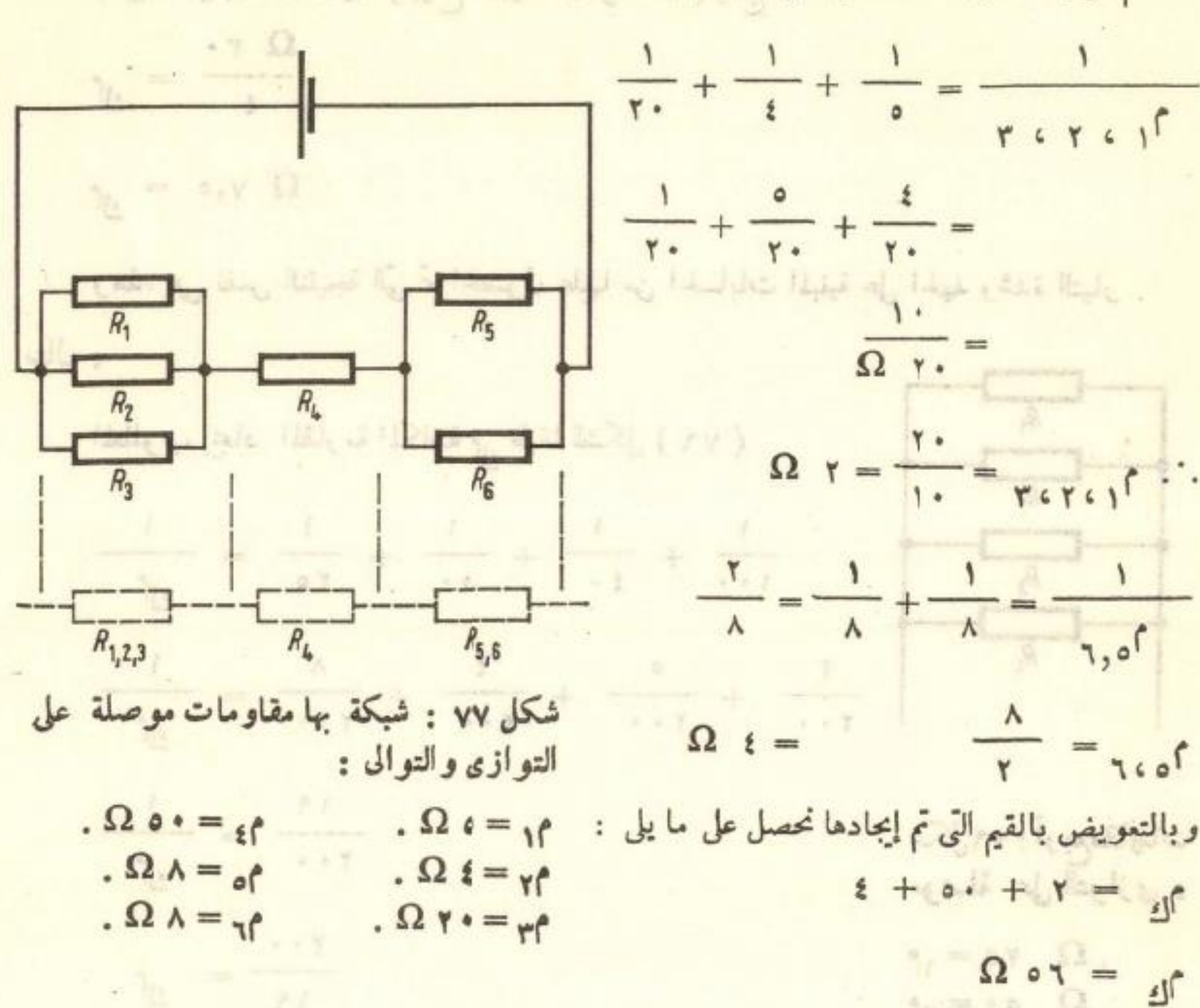
يسلط نفس الجهد على كل فرع به مقاوم فى أى شبكية بها مقاومات موصلة على التوازى .

يستخدم الشكل (٧٧) لإيضاح حالات المقاومة فى شبكية بها مقاومات موصلة على التوازى والتوالى .

فإذا أردنا إيجاد قيمة المقاومة المكافئة $م_ك$ لهذه الشبكية ، نفرض أن الدائرة تتكون من ثلاث مقاومات متصلة على التوالى ، يمثل إثنان منها المقاومة المكافئة لتوصيلتى توازى . ويوضح هذا الغرض بالمقاومات المرسومة بالخطوط المتقطعة بالشكل (٧٧) . وعلى هذا يمكن كتابة :

$$م_ك = م_{١، ٢، ٣} + م_٤ + م_{٥، ٦}$$

ثم توجد المقاومة المكافئة بالطريقة التالية :



$$\frac{١}{م_{١،٢،٣}} = \frac{١}{٥} + \frac{١}{٤} + \frac{١}{٢٠}$$

$$= \frac{٤}{٢٠} + \frac{٥}{٢٠} + \frac{١}{٢٠}$$

$$= \frac{١٠}{٢٠\ \Omega}$$

$$\therefore م_{١،٢،٣} = \frac{٢٠}{١٠} = ٢\ \Omega$$

$$\frac{١}{م_{٥،٦}} = \frac{١}{٨} + \frac{١}{٨} = \frac{٢}{٨}$$

$$م_{٥،٦} = \frac{٨}{٢} = ٤\ \Omega$$

شكل ٧٧ : شبكة بها مقاومات موصلة على التوازى والتوالى :

وبالتعويض بالقيم التى تم إيجادها نحصل على ما يلى :

$م_١ = ٥\ \Omega$. $م_٤ = ٥٠\ \Omega$.

$م_٢ = ٤\ \Omega$. $م_٥ = ٨\ \Omega$.

$م_٣ = ٢٠\ \Omega$. $م_٦ = ٨\ \Omega$.

$$م_ك = ٢ + ٥٠ + ٤$$

$$م_ك = ٥٦\ \Omega$$

المقاومة المكافئة لترتيبة هذه الدائرة هى ٥٦ Ω وبإلقاء نظرة فاحصة على الأمثلة السابقة الخاصة بمقاومات التوازى ، نحصل على النتيجة التالية :

تكون قيمة المقاومة المكافئة لأى ترتيبة مقاومات موصلة على التوازى ، **أقل** دائما من مقاومة أصغر مقاوم على حدة بها .

(ا) إيجاد قيمة $م_ك$ للمقاومات الموصلة على التوازى فى حالات خاصة :

فى ختام مناقشة الدوائر البسيطة والشبكيات الكهربائية تعطى طريقتان تفيدان فى إيجاد قيمة المقاومات المكافئة لعدة مقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازى :

مقاومان على التوازى :

يعاد ترتيب الصيغة $\frac{١}{م_ك} = \frac{١}{م_١} + \frac{١}{م_٢}$ بعد إيجاد المعامل المشترك فى المقام ، بهذه الكيفية :

$$\frac{١}{\text{م}_{ك}} = \frac{\text{م}_{١}}{\text{م}_{١} \times \text{م}_{٢}} + \frac{\text{م}_{٢}}{\text{م}_{١} \times \text{م}_{٢}}$$

$$\frac{١}{\text{م}_{ك}} = \frac{\text{م}_{١} + \text{م}_{٢}}{\text{م}_{١} \times \text{م}_{٢}}$$

$$\text{م}_{ك} = \frac{\text{م}_{١} \; \text{م}_{٢}}{\text{م}_{١} + \text{م}_{٢}}$$

وللتأكد من ذلك نعوض عن المقاومين $\text{م}_{١}$ ، $\text{م}_{٢}$ بقيمتها $\text{م}_{١} = ٣٠\Omega$ ، $\text{م}_{٢} = ١٠ \; \Omega$ ، فنحصل على ما يلى :

$$\text{م}_{ك} = \frac{٣٠ \times ١٠}{٢٠ + ١٠} = \frac{٣٠٠}{٤٠} = ٧,٥ \; \Omega$$

أى عدد من المقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازى :

تشمل الشبكية المبينة فى الشكل (٧٧) ترتيبة لمقاومين لهما نفس المقاومة وموصلين على التوازى ، وهما م ٥ ، ٦ ، وقيمة كل منهما ٨ Ω . وقد أوجدنا قيمة المقاومة المكافئة لهذين المقاومين بنفس الطريقة الرياضية المستخدمة فى إيجاد المقاومة المكافئة م ١ ، ٢ ، ٣ وعلى أى الأحوال ، فيمكن استخدام الطريقة السابقة لإيجاد مقاومتين على التوازى :

$$\text{م}_{ك} = \frac{٨ \times ٨}{٨ + ٨}$$

$$\text{م}_{ك} = \frac{٦٤}{١٦} = ٤ \; \Omega$$

ونعطى هنا طريقة أبسط كما يلى :

$$\text{م}_{ك} = \frac{\text{(قيمة المقاوم على حدة) أوم}}{\text{(عدد المقاومات الموصلة على التوازى) العدد}}$$

$$\text{م}_{ك} = \frac{٨}{٢} = ٤ \; \Omega$$

وإذا وصل ، على سبيل المثال ، ٧ مقاومات على التوازى وقيمة كل منها ٣,٥ Ω

$$\text{م}_{ك} = \frac{٣,٥}{٧} = ٠,٥ \; \Omega$$

(ب) مقارنة بين دوائر التوالى والتوازى :

	دائرة توالى	دائرة توازى
شدة التيار	$ت_{ج} = ت_{١} = ت_{٢} = \dots$	$ت_{ج} = ت_{١} + ت_{٢} + \dots$
الجهد	$ج_{ج} = ج_{١} + ج_{٢} + \dots$	$ج_{ج} = ج_{١} = ج_{٢} = \dots$
المقاومة	$م_{ك} = م_{١} + م_{٢} + \dots$	$\frac{١}{م_{ك}} = \frac{١}{م_{١}} + \frac{١}{م_{٢}} + \dots$

الفصل الثامن

الشغل والقدرة والكفاءة الكهربائية

٨/١ ملاحظات عامة على الشغل والقدرة :

يعرف الشغل بمعناه الشامل ، بأنه استنفاد للطاقة فى غرض من الأغراض . فالشخص الذى يحمل جوالا من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل ، يبذل شغلا . ولنقل هذا الجوال تلزم قوة معينة – وتقطع مسافة معينة . وفيزيائيا ، فقد بذل شغل ميكانيكى (ش) يساوى حاصل ضرب القدرة (ق) فى المسافة (ف) ، إذا كانا فى نفس الاتجاه ، وعليه فإن :

$$ش = ق \times ف$$

ويمكن تفهم المقصود بالقدرة إذا أخذنا فى الاعتبار الزمن الذى يبذل خلاله الشغل .فمثلا يبذل شخص يحمل ٢٠ جوالا من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل خلال ساعة واحدة شغلا أكثر من شخص يحمل ١٥ جوالا فقط من الحبوب لنفس المسافة وفى نفس الزمن . وفيزيائيا ، فقد نتجت عن ذلك قدرة ميكانيكية (قد) وتساوى حاصل ضرب القوة (ق) فى المسافة (ف) مقسوما على الزمن (ز) أو الشغل مقسوما على الزمن ، وعليه فإن :

$$قد = \frac{ق \times ف}{ز} = \frac{ش}{ز}$$

وسوف نتناول فيما يلى الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية .

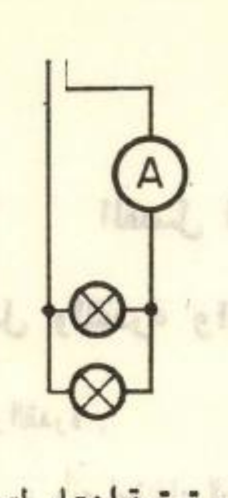
٨/٢ – الشغل الكهربائى :

يساعد الشكلان (٧٨) ، (٧٩) فى شرح العلاقات بين الجهد وشدة التيار والزمن . ومعرفة هذه الكميات لازمة لتحديد الشغل الكهربائى .

يبين الشكل (٧٨) رسم الدائرة لترتيبة مكونة من عداد كهربائى (عداد واط ساعة) وأميتر ، ومحول طاقة (فى هذه الحالة مصباح متوهج) .

عند تشغيل هذه الترتيبة ، فسوف يبين العداد (لا نحتاج حاليا إلى شرح طريقة عمله) الشغل الكهربائى المبذول ، وذلك بواسطة نبيطة عد ميكانيكية . وتبقى قراءة الأميتر ثابتة خلال هذا الزمن . وبمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعة بقراءته بعد تشغيل نصف ساعة نجد أن القراءة أصبحت الضعف .

ونحصل على نفس النتيجة بمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعتين بقراءته بعد ساعة تشغيل .



شكل ٧٩ : نفس ترتيبة الشكل (٧٨) مع إضافة مصباح متوهج آخر وله نفس معدل المصباح الأول ويوصل معه على التوازى .

شكل ٧٨ : ترتيبة اختبار لتحديد الشغل الكهربائى :
١ – مأخذ رئيسى بجهد ثابت .   ٣ – أميتر .
٢ – عداد كهرباء .   ٤ – مصباح .

وحيث أن الجهد وشدة التيار ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :

يتناسب الشغل الكهربائى تناسبا طرديا مع زمن التشغيل ، وذلك فى حالة ثبوت الجهد وشدة التيار .

ش α ز (ج ، ت ثابتان) .

يوضح الجدول (٧٩) نفس الترتيبة المبينة فى الشكل (٧٨) ، ولكن يوصل بها على التوازى مصباحان متوهجان بدلا من مصباح واحد ويكون لهما نفس مقننه .

وبتشغيل هذه الترتيبة ، نجد أن قراءة العداد بعد نفس زمن التشغيل للاختبار السابق ، تصبح ضعف القراءة التى حصلنا عليها فى حالة مصباح واحد . وحيث أن الجهد وزمن التشغيل ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :

يتناسب الشغل الكهربائى مع شدة التيار تناسبا طرديا ، فى حالة ثبوت الجهد والزمن .

ش α ت (ج ، ز ثابتان) .

وبتطبيق العلاقة بين الشغل الكهربائى والجهد نحصل على النتيجة التالية :

يتناسب الشغل الكهربائى مع الجهد تناسبا طرديا فى حالة ثبوت قيمة شدة التيار وزمن التشغيل .

ش α ج (ت ، ز ثابتان) .

وبإدماج النتائج السابقة ، نحصل على الخلاصة التالية :

الشغل الكهربائى (فى دائرة التيار المستمر) يساوى حاصل ضرب الجهد وشدة التيار والزمن .

ش = ج × ت × ز .

ويمكن تفسير قصر هذه القاعدة على دوائر التيار المستمر بعد دراسة مفهوم التيار المتردد .

٨/٣ – القدرة الكهربائية :

هناك علاقة بين الشغل والزمن ، كما سبق شرحه عند إيجاد قيمة القدرة الميكانيكية . وينطبق ذلك أيضا على القدرة الكهربائية ، وعليه فإن :

$$\text{القدرة الكهربائية} = \frac{\text{الشغل الكهربائى}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{قـد} = \frac{\text{ج} \times \text{ت} \times \text{ز}}{\text{ز}}$$

وحيث أن خارج قسمة $= \frac{\text{ز}}{\text{ز}} = ١$ ، ينتج أن :

القدرة الكهربائية = الجهد × شدة التيار

قـد = ج × ت

القدرة الكهربائية ، فى دائرة التيار المستمر ، تساوى حاصل ضرب الجهد فى شدة التيار .

ووحدة القدرة الكهربائية هى فلط – أمبير . ولقد أطلق عليها المصطلح واط تكريما للعالم الانجليزى جيمس واط (١٧٣٦ – ١٨١٩) .

وحدات الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية :

الكميـة	الرمز	الوحـدة	الاختصار
الشغل	ش	واط ثانية	و.ث
القـدرة	قـد	واط	واط

وتستخدم وحدات مشتقة من هذه الوحدات الأساسية مثل :

كيلو واط ساعة (ك.و.س) .

١ ك . و.س = ٠٠٠ ٦٠٠ ٣ واط ثانية (وث) .

وتستخدم عادة الوحدات التالية للقدرة الكهربائية :

١ كيلوواط (ك.و) = ١٠٠٠ واط

١ ميجا واط = ٠٠٠ ١٠٠٠ واط

مثال :

ما زمن تشغيل مصباح إشعاعى ليبذل شغلا قيمته ١ كيلوواط ساعة ، إذا كان دخل قدرته ٢٥٠ واط ؟

المعطيات :

قـــد = ٢٥٠ واط

ش = ١ كيلوواط ساعة

المطلوب : الزمن ز

الحل :

$$\text{قد} = \frac{\text{ش}}{\text{ز}} \quad ، \quad \text{ز} = \frac{\text{ش}}{\text{قـــد}}$$

$$\text{ز} = \frac{\text{١ ك و س}}{\text{٢٥٠ واط}} = \frac{\text{١٠٠٠ واط س}}{\text{٢٥٠ واط}} = \text{٤ ساعة}$$

يمكن تشغيل المصباح الاشعاعى لفترة قدرها ٤ ساعات لكى يبذل شغلا قدره ١ كيلوواطساعة

مثال :

يراد تركيب جهاز طهو كهربائى دخل قدرته ٢٠٠٠ واط فى منزل . يغذى هذا المنزل من دائرة مأخذها الرئيسى ٢٢٠ فلط بمصهر وقاية ١٠ أمبير . وقد تم تركيب المعدات الكهربائية المنزلية العادية ، مثل المسخن وجهاز الراديو والتليفزيون وخلافه . فهل يمكن توصيل جهاز الطهو الكهربائى هذا دون اتخاذ أى تدبير آخر ؟

المعطيات :

قـــد = ٢٠٠٠ واط

ج = ٢٢٠ فلط

المطلوب شدة التيار ت

الحل :

$$\text{قـــد} = \text{ج} \times \text{ت}$$

$$\text{ت} = \frac{\text{قـــد}}{\text{ج}}$$

$$\text{ت} = \frac{\text{٢٠٠٠ وط}}{\text{٢٢٠ فلط}} = \frac{\text{٢٠٠٠ فلط أمبير}}{\text{٢٢٠ فلط}} = \text{٩ أمبير}$$

دخل التيار لهذا الجهاز حوالى ٩ أمبير ، ونظرا لوجود أجهزة كهربائية أخرى إلى جانب جهاز الطهو ، تشغل فى نفس الوقت ، فتكون الدائرة محملة بحمل زائد ، وينصهر المصهر نتيجة لهذا الحمل الزائد . لذا يحتاج جهاز الطهو إلى دائرة كهربائية أخرى ، بمصهر وقاية ١٠ أمبير .

٨/٤ – الكفاءة :

يعبر عن كفاءة مكنة أو جهاز أو تركيبات كهربائية بنسبة الخرج النافع إلى الدخل الكلى للقدرة . ويبذل المصممون والمنتجون أقصى جهد ممكن فى جميع الفروع الهندسية ، فى سبيل تصميم وبناء المكنات والأجهزة وغيرها ، لتحقيق اقتراب هذه النسبة من الواحد الصحيح أو مائة فى المائة . وهذا يعنى أن المشترى يبحث دائما عن مثل هذه المكنة أو الجهاز الذى يكون استهلاك وفقد طاقته أصغر ما يمكن . ومثال ذلك : المصابيح الفلورية ذات الجهد المنخفض ، التى حلت محل المصابيح المتوهجة فى كثير من المصانع والمكاتب . وهذا يرجع أيضا إلى الكفاءة الضوئية العالية لها . وتتراوح هذه الكفاءة بين ٣ و ٣,٥ أضعاف كفاءة المصابيح المتوهجة ، التى لها نفس دخل القدرة ، ويرمز للكفاءة بالرمز η (ايتا) ، ويرمز لدخل القدرة بالرمز $قد_{د}$ وخرج القدرة بالرمز $قد_{خ}$ وعليه .

$$\eta = \frac{قد_{خ}}{قد_{د}}$$

ويعبر عن الكفاءة بكسر عشرى (فمثلا ٠,٩ ، ٠,٧ ، ٠,٦٢) ويبين خرج القدرة المتاحة بدلالة كسور من دخل القدرة . وإذا أريد التعبير عن الكفاءة كنسبة مئوية ، تجرى الطريقة التالية :

$$\eta = ٠,٥ = \frac{٥٠}{١٠٠} = ٥٠ \text{ فى المائة .}$$

مثال :

وجد أن خرج القدرة لجهاز كهربائى هو ٤٠٠ واط . وبتوصيل أميتر بخط التغذية ، لوحظ أنه يبين شدة تيار قيمتها ٢,٢٨ أمپير ، وكان جهد المأخذ الرئيسى ٢٢٠ فلط . ما كفاءة هذا الجهاز ؟

المعطيات :

$قد_{خ}$ = ٤٠٠ واط

ت = ٢,٢٨ أمپير

ج = ٢٢٠ فلط

المطلوب :

الكفاءة η

الحل :

$$\text{قـد}_{\text{د}} = \text{ج} \times \text{ت} \qquad \text{قـد}_{\text{د}} = ٢٢٠ \times ٢,٢٨$$

$$\text{قـد}_{\text{د}} = ٥٠١,٦ \text{ واط}$$

$$\eta = \frac{\text{قـد}_{\text{خ}}}{\text{قـد}_{\text{د}}} \text{ ، } \eta = \frac{٤٠٠ \text{ وط}}{٥٠١,٦} \text{ ، } \eta = ٠,٧٩$$

كفاءة هذا الجهاز هى ٠,٧٩

أى أن ٧٩ فى المائة من دخل القدرة المستخدمة أمكن الاستفادة بها .

مثال :

تنص لوحة المقننات (لوحة البيانات) لجهاز كهربائى على أن كفاءته هى ٠,٨٥ ودخل قدرته ٢٥٠٠ واط ، ما خرج قدرته ؟

المعطيات :

الكفاءة $\eta = ٠,٨٥$

$\text{قـد}_{\text{د}} = ٢٥٠٠$ واط

المطلوب : $\text{قـد}_{\text{خ}}$

الحل :

$$\eta = \frac{\text{قـد}_{\text{خ}}}{\text{قـد}_{\text{د}}}$$

$$\text{قـد}_{\text{خ}} = \eta \times \text{قد}_{\text{د}} = ٠,٨٥ \times ٢٥٠٠$$

$$\text{قـد}_{\text{خ}} = ٢١١٥ \text{ واط}$$

خرج القدر؛ لهذا الجهاز هو ٢١١٥ واط

M G

$\eta = 0,93$ $\eta = 0,8$ $\eta = 0,72$

شكل ٨٠ :

رسم الدائرة للمسألة المطلوب حلها :

ويبين التحليل الموجز لتركيبات كهربائية تتكون من ثلاث وحدات ، مدى أهمية أخذ الكفاءة فى الاعتبار .

مثال :

يبين الشكل (٨٠) رسم الدائرة لتركيبات كهربائية مكونة من محول جهد عالى ، ومجموعة توليد كهربائية ، تشتمل على محرك تيار متردد يدير مولد تيار مستمر (وتستخدم مثل هذه التركيبات فى اللحام والطلاء الكهربائى) .

إذا كان دخل القدرة للمحول ٤,٥ كيلوواط . فما الكفاءة الإجمالية لهذه التركيبات ؟

المعطيات :

$قـ_{د}$ = ٤,٥ كيلوواط

η للمحول = ٠,٩٣

η للمحرك الكهربائى = ٠,٨

η للمولد الكهربائى = ٠,٧٢

المطلوب :

الكفاءة الإجمالية $\eta_{ج}$

الحل :

يمكن أولا حساب $قد_{د}$ للمحول ، ونعتبر هذه النتيجة $قد_{د}$ للمحرك الكهربائى . نحسب بعد ذلك $قـ_{خ}$ المحرك على أساس دخل قدرته . ونعتبر $نـ_{خ}$ المحرك على أنها $قـ_{د}$ للمولد الكهربائى ، ومنها يمكن حساب $قـ_{خ}$ للمولد . ويمكن ربط الأخيرة مع $قـ_{د}$ للمحول . ونحصل على نفس النتيجة من حاصل ضرب كل القيم على حدة للكفاءة :

$$\eta_{ج} = \eta \text{ للمحول } \times \eta \text{ للمحرك الكهربائى } \times \eta \text{ للمولد الكهربائى}$$

$$\eta_{ج} = ٠,٩٣ \times ٠,٨ \times ٠,٧٢$$

$$\eta_{ج} = ٠,٥٣$$

الكفاءة الكلية لهذه التركيبة ٠,٥٣ . وهذا يعنى أن ٥٣ فى المائة فقط من دخل قدرة المحول أمكن الحصول عليها كخرج قدرة للمولد . أى أنه أمكن استخدام حوالى ٢,٤ كيلوواط فقط من دخل قدرة قيمتها ٤,٥ كيلوواط .

الفصل التاسع

المغنطيسية ، والمغنطيسية الكهربائية

شرحنا فى مقدمة هذا الكتاب التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى . ويستفاد بهذا التأثير فى عدة نبائط وأجهزة ومكنات مغنطيسية كهربائية . فمثلا ، تشغل جميع المكنات الدوارة على مبادئ المغنطيسية الكهربائية . ومن هذه المكنات المولدات والمحركات الكهربائية . عرف الإنسان من قديم الزمن الظاهرة المغنطيسية ، وكان ذلك قبل اكتشاف الظواهر المغنطيسية الكهربائية بفترة طويلة .

٩/١ – الظواهر المصاحبة للمغنطيسات الطبيعية والصناعية :

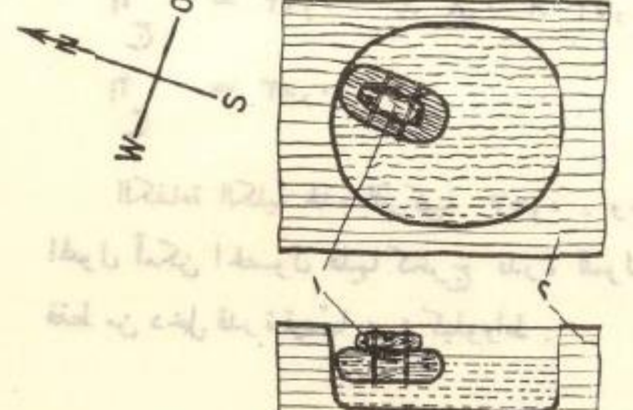
(ا) نبذة تاريخية عن المغنطيسات الطبيعية :

لم يعرف بعد على وجه التأكيد أول من اكتشف الخام الذى عرف بالمجنيتيت أو حجر المغنطيس من قديم الزمن .

ويحدث هذا الخام تأثيرا ديناميكا ، يمكن ملاحظته عند جذبه للمواد الحديدية والنيكل والكوبلت عند تقريبها إليه .

ومن المسلم به أن هذه المعرفة لم يكن لها الأهمية العملية فى ذلك الوقت ، بينما كان الاكتشاف الأكثر أهمية هو التالى : إذا علقت قطعة من المجنيتيت بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها توجه نفسها فى اتجاه معين بالنسبة لما يحيط بها . ونعرف اليوم أن هذا التوجيه يتطابق مع اتجاه شمال جنوب الكرة الأرضية . وقدمت خاصية المجنيتيت هذه وسائل مقبولة . لتوجيه البحارة ، خلال رحلاتهم المحفوفة بالمخاطر فى الأيام الأولى للبحرية .

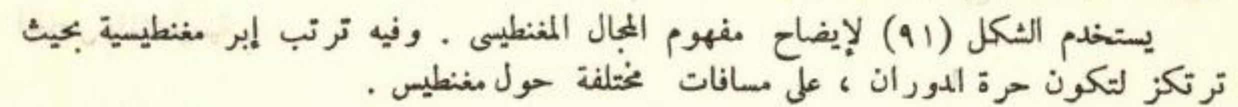
ويبين الشكل (٨١) مثالا للنموذج المبسط لبوصلة جيروسكوبية .



شكل ٨١ : قطعة من المجنيتيت تستخدم كبوصلة بدائية كانت أساسا للبوصلة الحديثة الجيروسكوبية .

١ – خامة مجنيتيت مربوط على قطعة من الخشب .

٢ – إناء خشبى مملوء بالماء ، ويسبح الخام المغنطيسى فى الاتجاه بين الشمال والجنوب .



شكل ٩١ : هذا التوضيح يساعد فى تباين المجال المغنطيسى

١ – مغنطيس .

٢ – إبرة مغنطيسية فى نطاق مدى المجال المغنطيسى .

٣ – حدود المجال المغنطيسى .

٤ – إبرة مغنطيسية خارج نطاق مدى المجال المغنطيسى .

٩/٢ – المجالات المغنطيسية :

(ا) تعريف مفهوم المجال المغنطيسى :

يستخدم الشكل (٩١) لإيضاح مفهوم المجال المغنطيسى . وفيه ترتب إبر مغنطيسية بحيث ترتكز لتكون حرة الدوران ، على مسافات مختلفة حول مغنطيس .

وتوضع الإبر المغنطيسية فى مستوى واحد معين (الشكل ٩١) وعلى أى حال ، فإنه يمكن وضع هذه الإبر فوق أو أسفل هذا المستوى المعين أيضا . ونلاحظ الظاهرة التالية : تنضبط جميع الإبر المغنطيسية بحيث تشير إلى المغنطيس ، وذلك فى نطاق مسافة معينة منه ، وخارج هذا النطاق تنضبط الإبر المغنطيسية بحيث تكون فى الاتجاه الشمالى – الجنوبى الأرضى .

ونحصل من ذلك على الخلاصة التالية : **تؤثر القوى المغنطيسية الناتجة عن مغنطيس فى نطاق حيز معين ، يطلق عليه « المجال المغنطيسى »** .

والمجال المغنطيسى هو حيز تكون المغنطيسية فعالة فى نطاقه ، بحيث توجد عند أى نقطة فيه قوة مغنطيسية .

وللأرض مجال مغنطيسى أيضا . ويوضح الترتيب الخاص للإبر المغنطيسية المبين فى الشكل (٩١) الحقيقة بوجود مجالين مغنطيسيين ، **المجال المغنطيسى للأرض والمجال المغنطيسى للمغنطيس .**

(ب) خطوط المجال المغنطيسى ونماذج خطوط المجال :

لتعذر إمكانية مشاهدة حدود وقوى المجال المغنطيسى بطريقة مرضية ، نستخدم ما يسمى « بخطوط المجال المغنطيسى ونماذجها » ، وتعرف أيضا بخطوط الفيض المغنطيسى ، كوسيلة لتوضيح هذه الظاهرة .

ويساعد الشكلان (٩٢) ، (٩٣) فى تفهم كيفية تكوين وتخيل صورة لخطوط المجال المغنطيسى . فبغمس قضيب مغنطيسى ، أو مغنطيس على هيئة حدوة الحصان ، فى كومة صغيرة من برادة الحديد ، يتعلق بالمغنطيس عدد كبير من البرادة بترتيب معين .

ولا ينطبق القطبان المغنطيسيان للكرة الأرضية على القطبين الجغرافيين تماما ، بل يوجد بينهما انحراف يؤخذ فى الاعتبار عند تدريج البوصلة .

وتكون أقصى شدة للتأثير المغنطيسى عند قطبى المغنطيس .

التجاذب والتنافر :

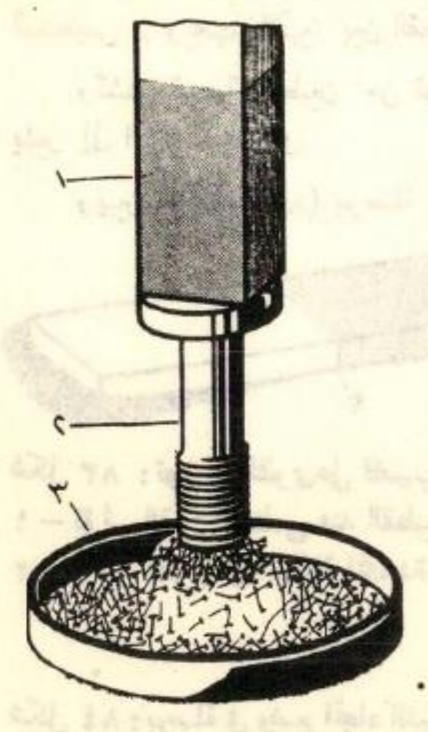
يبين الشكل (٨٥) قضيبا مغنطيسيا معلقا بحيث يكون حر الحركة ، ويقرب إليه مغنطيس آخر ، نلاحظ ما يلى :

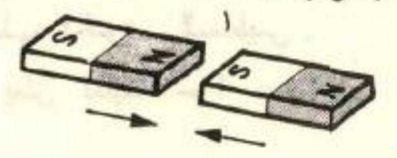
بتقريب القطب الشمالى للقضيب المغنطيسى نحو القطب الجنوبى للمغنطيس المعلق ، يتحرك الأخير نحو القضيب المقرب إليه . وهذا يعنى أنه عندما ما يواجه القطب الشمالى لمغنطيس القطب الجنوبى لمغنطيس آخر فإنهما يتجاذبان . ولكن عندما نقرب القطب الجنوبى لمغنطيس نحو القطب الجنوبى للمغنطبس المعلق ، يتحرك الأخير بعيدا عن المغنطيس المقرب . وهذا يعنى أنه عندما يواجه قطب مغنطيسى قطباً مغنطيسيا آخر مشابهاً له فى القطبية ، فإنهما يتنافران .

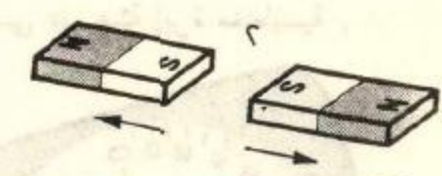
تتجاذب الأقطاب المغنطيسية المختلفة القطبية ، وتتنافر الأقطاب المغنطيسية التى لها نفس القطبية (قانون تأثير القوى المغنطيسية) .

الحث المغنطيسى :

لقد تم وصف الحث الكهربائى عند شرح الظاهرة الاستكاتيكية الكهربائية . ويحدث أيضا حث مغنطيسى كما هو موضح بالشكل ٨٦ . حيث يوضع قطب مغنطيسى فوق مجموعة دبابيس صغيرة ، على مسافة كبيرة ، بحيث لا تنجذب إليه . وإذا وضعنا على سبيل المثال ، مسمار مكنة ملولب ، بين قطب المغنطيس والدبابيس ، يجذب اللولب الدبابيس الصغيرة ، بفرض أن المسافة بينهما تكون صغيرة بدرجة كافية . وإذا حركنا المغنطيس بعيدا عن اللولب ، نلاحظ سقوط الدبابيس المعلقة باللولب .







شكل ٨٥ : تجاذب وتنافر المغنطيسات :
١ يتجاذب القطب الجنوبى والقطب الشمالى .
٢ – تتنافر الأقطاب التى لها نفس القطبية .

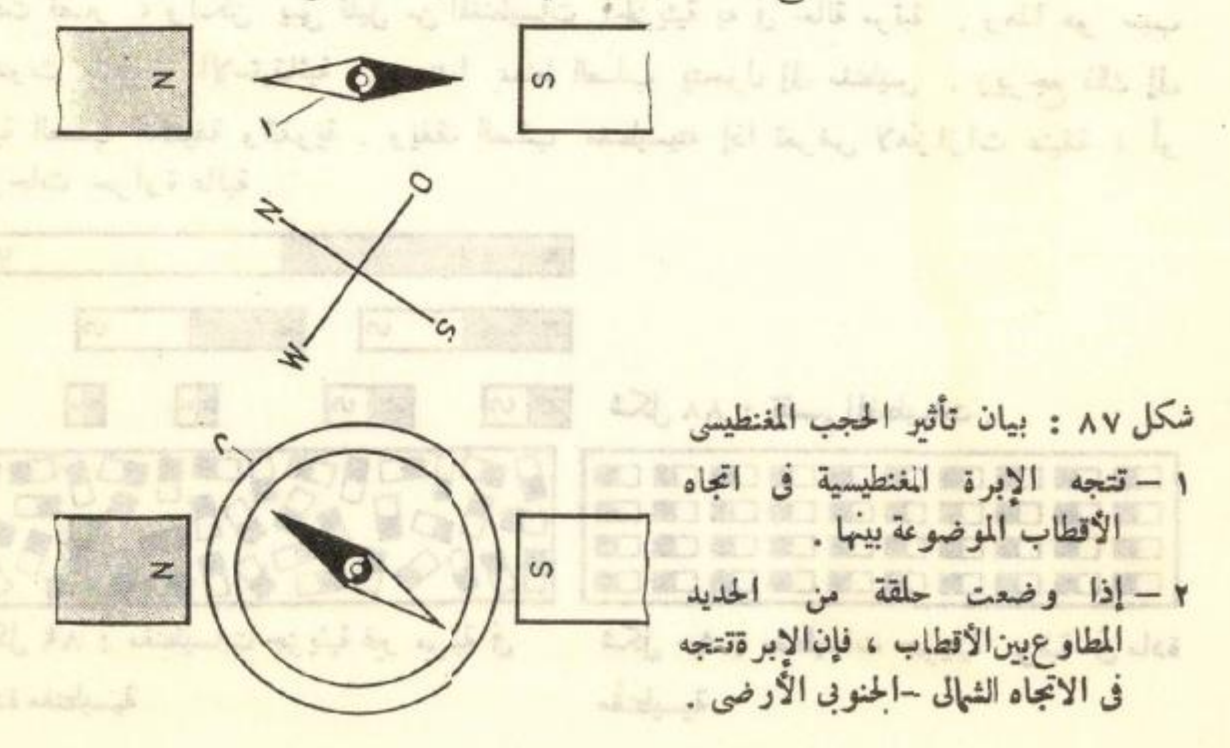
شكل ٨٦ : الحث المغنطيسى :
١ – قضيب مغنطيسى . ٣ – مسمار مكنة ملولب .
٢ – وعاء به دبابيس .

(جـ) الاستبقائية:

إذا وضعنا بدلا من مسمار المكنة الملولب ، المصنوع من الصلب ، قطعة أخرى من الحديد المطاوع (مادة حديدية غير مصلدة) ، فى الحيز بين القضيب المغنطيسى والدبابيس ، نلاحظ أيضا سقوط الدبابيس عند رفع المغنطيس ، بينما يكون لدى قطعة الحديد المطاوع القدرة على جذب برادة الحديد . ونحصل من ذلك على الخلاصة التالية : لا تتلاشى المغنطيسية كلية بإبعاد القضيب المغنطيسى المؤثر ، وإنما تكون هناك بقية صغيرة منها ، فى الحديد المطاوع . وتسمى هذه الظاهرة « المغنطيسية المتبقية » أو « الاستبقائية » . وقد أفادت هذه الظاهرة فى تطوير صناعة المولدات الكهربائية فائدة كبيرة ، وسوف يأتى شرح هذا فيما بعد .

تأثير الحجب المغنطيسى :

لا تتجه إبرة مغنطيسية فى اتجاه المغنطيسية الأرضية إذ وضعت بين قضبى مغنطيس ، ولكنها تتجه فى اتجاه الشمال الجنوبى للقضيب المغنطيسى ، نظرا لأن الأخير يحدث قوة أكبر على الإبرة من قوة المغنطيس الأرضى . وبوضع حلقة من الحديد المطاوع بين قطبى المغنطيس ، وإبرة مغنطيسية داخل هذه الحلقة ، نجد أن الإبرة تأخذ اتجاه الشمال الجنوبى للمغنطيس الأرضى . ويتضح أنه ليس للمغنطيس أى تأثير مغنطيسى داخل حلقة الحديد المطاوع . ويطلق على هذه الظاهرة « تأثير الحجب المغنطيسى » ، وتستغل هذه الظاهرة فى البوصلات المستخدمة فى السفن . وعادة ما يدخل فى صناعة هذه السفن ، كميات كبيرة من الصلب ، مما يؤثر على انضباط الإبرة المغنطيسية . ولهذا السبب تحجب الإبرة المغنطيسية لضمان الضبط الصحيح لها فى اتجاه الشمال الجنوب . ويوضح الشكل (٨٧) تأثير الحجب المغنطيسى .



شكل ٨٧ : بيان تأثير الحجب المغنطيسى
١ — تتجه الإبرة المغنطيسية فى اتجاه الأقطاب الموضوعة بينها .
٢ — إذا وضعت حلقة من الحديد المطاوع بين الأقطاب ، فإن الإبرة تتجه فى الاتجاه الشمالى — الجنوبى الأرضى .

(د) النظرية الجزيئية للمغنطيسية :

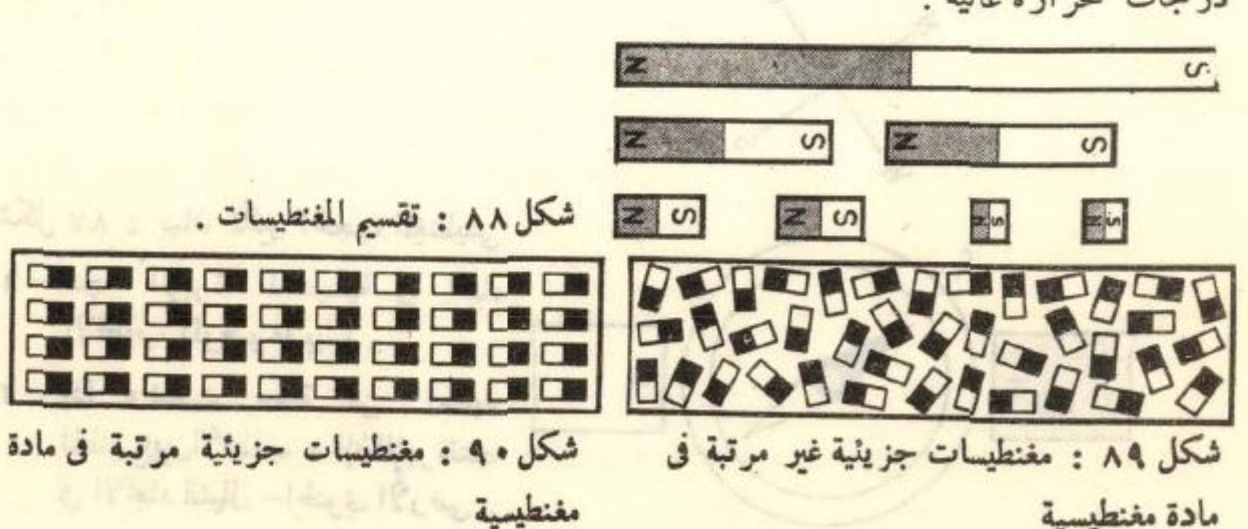
فى مجال دراسة الظواهر المغنطيسية ، كان لابد من البحث عن إجابات لعديد من الأسئلة ، فعلى سبيل المثال ، يوجد دائما قطبان مختلفا القطبية فى المغنطيس ، ولا يوجد مغنطيس بقطب واحد . ولماذا يكون للمغنطيسات الصلب (والمغنطيسات الخزفية) مغنطيسية دائمة ، بينما تحتفظ المغنطيسيات من الحديد المطاوع بمغنطيسية استبقائية فقط ؟ . مثل هذه الأسئلة ، يمكن الإجابة عليها بفرض أن المواد المغنطيسية تتكون من مغنطيسيات متناهية فى الصغر تسمى « مغنطيسيات جزيئية » .

يوضح الشكل (٨٨) كيفية تكوين هذا المفهوم . بتقسيم قضيب مغنطيس عند المنطقة المحايدة ، نحصل على قضيبين مغنطيسيين ، لكل منهما قطب جنوبى واحد وقطب شمالى واحد . ويمكن الاستمرار فى هذا التقسيم ، وأصغر ما نحصل عليه ، يكون عبارة عن مغنطيس بقطب جنوبى وقطب شمالى .

ويفترض أنه حتى مثل هذه الأجزاء الصغيرة التى لا يمكن قطعها من المغنطيس بأدوات القطع العادية ، تظل مغنطيسات ، وبمعنى آخر تكون أصغر أجزاء المواد المغنطيسية مغنطيسات . وحيث أنه يطلق على الأجزاء الصغيرة من المادة جزيئات ، فيطلق على هذه المغنطيسات الصغيرة « المغنطيسات الجزيئية » .

ويفترض أيضا أن المغنطيسات الجزيئية فى أى مادة مغنطيسية بعيدة عن التأثير المغنطيسى تكون فى أوضاع غير مرتبة وبغير اتجاه مفضل (الشكل ٨٩) .

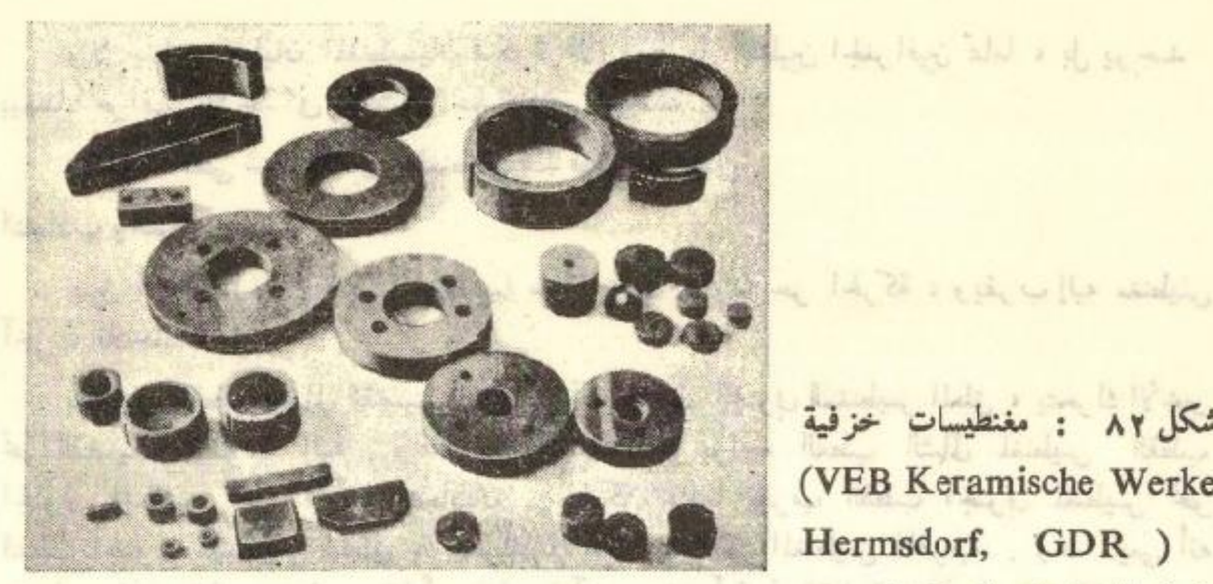
وعند مغنطة هذه المواد المغنطيسية مثلا ، بدلك نضيب مغنطيسى ، ترتب المغنطيسات الجزيئية نفسها بالطريقة المبينة بالشكل (٩٠) . وبمغنطة الحديد المطاوع ، يفقد مغنطيسيته بعد وقت قصير ، ولكن يبقى قليل من المغنطيسات الجزيئية به فى حالة مرتبة . وهذا هو سبب حدوث ظاهرة الاستبقائية . وعندما يمغنط الصلب يتحول إلى مغنطيس . ويرجع ذلك إلى بنية الصلب الكثيفة والقوية . ويفقد الصلب مغنطيسيته إذا تعرض لاهتزازات عنيفة ، أو درجات حرارة عالية .



شكل ٨٨ : تقسيم المغنطيسات .

شكل ٨٩ : مغنطيسات جزيئية غير مرتبة فى مادة مغنطيسية

شكل ٩٠ : مغنطيسات جزيئية مرتبة فى مادة مغنطيسية



شكل ٨٢ : مغنطيسات خزفية
(VEB Keramische Werke
Hermsdorf, GDR)

(ب) المغنطيسات الصناعية :

لم يعد للمجنيتيت أهمية عملية فى هذه الأيام . حيث استخدم بدلا منه مغنطيسات صناعية من الصلب وسبائكه وكذلك مغنطيسات خزفية . ويمكن تصنيع الأخيرة فى أى شكل مطلوب كما فى الشكل (٨٢) .

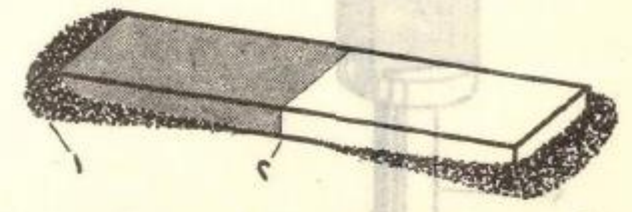
ونبدأ هنا بإيضاح بضعة مفاهيم خاصة بالمغنطيسية ، وذلك باستخدام قضيب مغنطيسى على سبيل المثال :

الأقطاب :

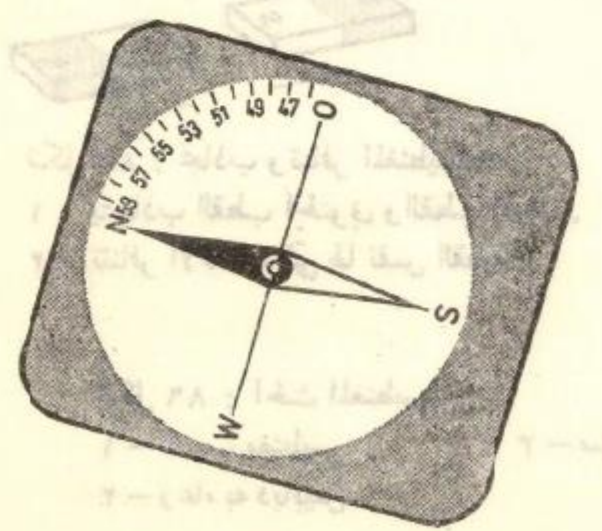
يبين الشكل (٨٣) قضيبا مغنطيسيا موضوعا على برادة حديد ناعمة . ونلاحظ أن الغالبية العظمى من هذه البرادة تتعلق بنهايتى القضيب ، ويطلق على هاتين النهايتين « القطبان » . ولا تتعلق برادة الحديد حول مركز القضيب ، ويطلق على هذا الجزء من القضيب « المنطقة المحايدة » للمغنطيس . ويجب التمييز بين القطب الشمالى والقطب الجنوبى للمغنطيس .

وتشتق تسمية القطبين من توجيه مغنطيس يعلق تعليقا حرا ، فالقطب الشمالى هو الذى يشير إلى الشمال الجغرافى .

ويبين الشكل (٨٤) بوصلة جيب بسيطة ، قضيبها المنطيسى على هيئة إبرة مغنطيسية .

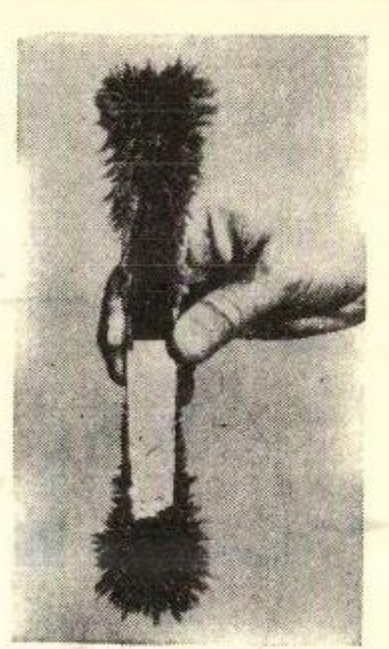


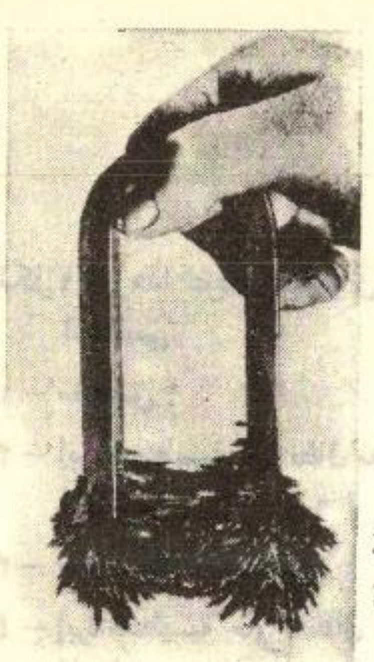
شكل ٨٣ : توزيع القوى على قضيب مغنطيسى .
١ – تؤثر القوى العظمى عند القطبين .
٢ – تأثير القوى فى المنطقة المحايدة غير ملحوظ .



شكل ٨٤ : بوصلة فى وضع اتجاه الشمال – الجنوب .

شكل ٩٢ : قضيب مغنطيسى معلق به برادة حديد .



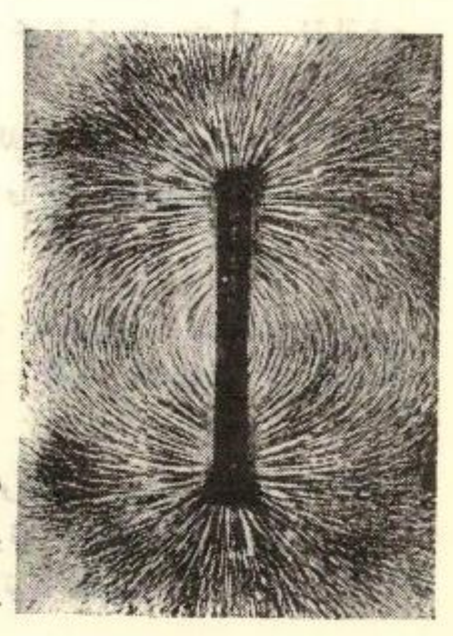


شكل ٩٣ : مغنطيس على هيئة حدوة الحصان معلق به برادة حديد .

ويتضح من هذه التجربة أن كية قليلة من البرادة تتعلق بالقضيب المغنطيسى فى المنطقة المحايدة منه ، بينما توجد القوى العظمى عند قطبى مغنطيس حدوة الحصان ، ويوضح الشكلان التأثير الخاص بالمغنطيسية .

ويمكن إيضاح خطوط الفيض المغنطيسى بطريقة أحسن ، وذلك بواسطة لوح من الزجاج مغطى ببرادة الحديد . وبوضع مغنطيس فوق هذا اللوح ، والدق على اللوح دقا خفيفا ، تنظم الأجزاء نفسها بترتيبة معينة مبينة خطوطا للفيض المغنطيسى على هيئة خطوط متقاربة نوعا . ويوضح الشكلان (٩٤) ، (٩٥) نموذجين لخطوط الفيض المغنطيسى .

شكل ٩٤ : تشكيل المجال المغنطيسى لقضيب مغنطيسى يمكن مشاهدته بمساعدة برادة الحديد .





شكل ٩٥ : تشكيل المجال المغنطيسى لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان يمكن مشاهدته بمساعدة براذة الحديد.

ويستخلص من ذلك ما يلى :

خطوط الفيض المغنطيسى هى خطوط مغلقة وتمتد من القطب الشمالى إلى القطب الجنوبى للمغنطيس . وتبين نماذج خطوط الفيض شكل المجال المغنطيسى .

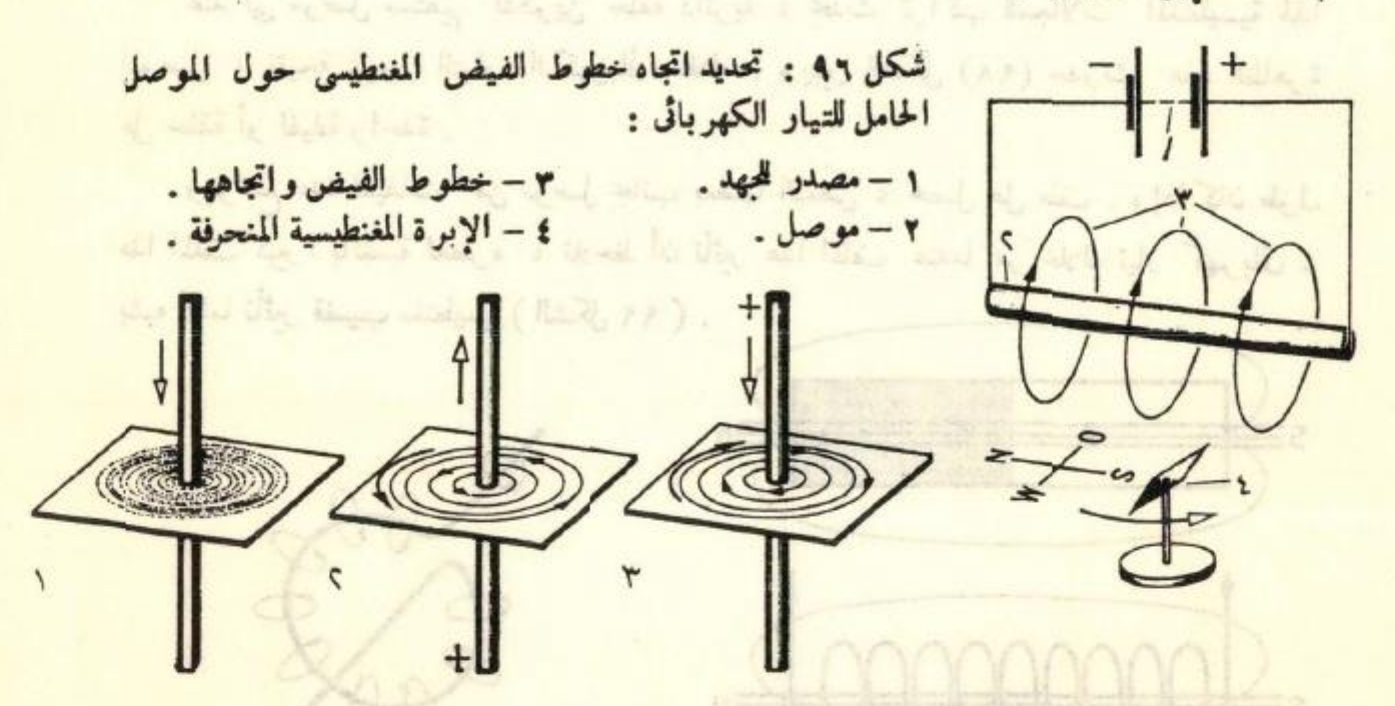
٣/٩ – الظاهرة المغنطيسية الكهربائية :

شرحنا فى الفصل الأول من هذا الكتاب التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى ، وكان أورستد Oersted الفيزيائى الدانمركى أول من اكتشف الظاهرة المغنطيسية الكهربائية . حيث لاحظ فى عام ١٩٢٠ انحراف البوصلة المغنطيسية الموضوعة على محور ارتكاز عن اتجاه الشمال – الجنوب ، إذا وضعت قريبا من موصل مستقيم يحمل التيار الكهربائى . وأوضحت التجارب التى أجراها أورستد تكوين مجالات مغنطيسية حول الموصلات الحاملة للتيار الكهربائى .

(ا) المجال المغنطيسى للموصل المستقيم الحامل للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٩٦) ترتيبة الاختبار التى يحتمل أن يكون قد استخدمها أورستد . ويبين اتجاه الإبرة المغنطيسية اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى .

ويعتمد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى على اتجاه التيار الكهربائى ، ويمكن إثبات ذلك أيضا بمساعدة الإبر المغنطيسية .



شكل ٩٦ : تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى :

١ – مصدر الجهد . ٣ – خطوط الفيض واتجاهها .
٢ – موصل . ٤ – الإبرة المغنطيسية المنحرفة .

شكل ٩٧ : هذا التوضيح يساعد فى تبيان العلاقة بين اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى واتجاه التيار الكهربائى

١ – خطوط المجال حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى .
٢ – اتجاه خطوط المجال .
٣ – اتجاه خطوط المجال بعد عكس اتجاه التيار .

ويبين الشكل (٩٧) ترتيبة اختبار بها موصل يخترق لوحا من الزجاج مغطى ببرادة الحديد الناعمة . وعند إمرار تيار كهربائى بالموصل ، بالدق الخفيف على لوح الزجاج ، ترتب برادة الحديد نفسها طبقا لخطوط الفيض مكونة نموذجا نوعيا للمجال المغنطيسى للموصل . وتبين الإبر المغنطيسية الموضوعة على لوح الزجاج اتجاه الفيض . وعند عكس القطبية فى هذه الترتيبة (وذلك بجعل التيار الكهربائى يمر فى عكس اتجاهه الأول) ، ينعكس أيضا اتجاه الفيض .

ويمكن بسهولة تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى التى تعتمد على اتجاه التيار الكهربائى ، وذلك بمساعدة القاعدتين التاليتين .

قاعدة اللولب :

عند ربط مسمار ملولب يمينى إلى أسفل فى اتجاه سريان التيار الكهربائى ، فان اتجاه دورانه يبين اتجاه الفيض المغنطيسى .

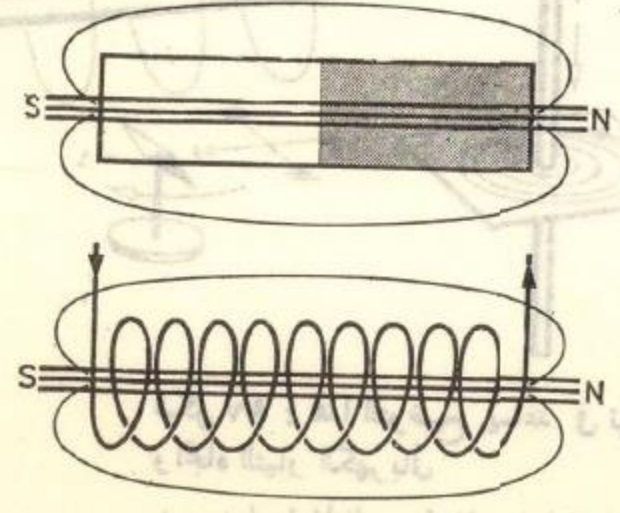
قاعدة الإبهام :

عند القبض على موصل حامل للتيار باليد اليمنى ، بحيث يشير إصبع الإبهام إلى اتجاه سريان التيار ، تبين أطراف الأصابع اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى .

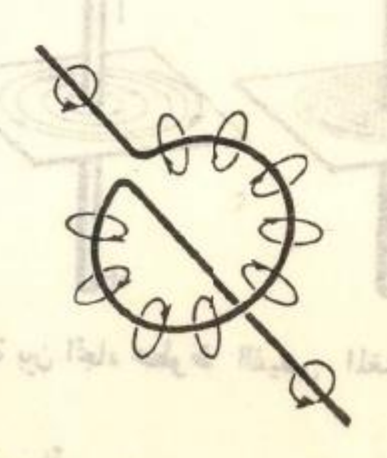
(ب) المجال المغنطيسى لملف حامل للتيار الكهربائى :

عند ثنى موصل مستقيم لتكوين حلقة دائرية ، يحدث تراكب للمجالات المغنطيسية لهذا الموصل ، نتيجة لمرور التيار الكهربائى خلاله . ويبين الشكل (٩٨) حدوث هذه الظاهرة على حلقة أو لفيفة واحدة .

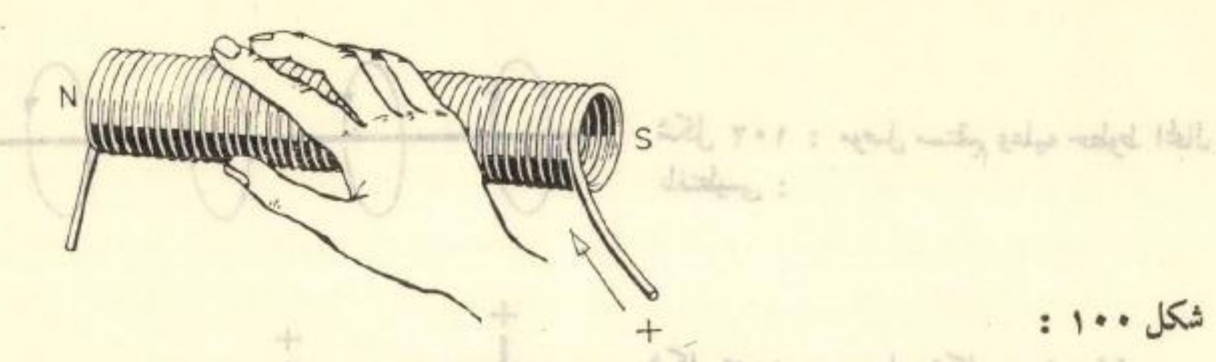
وبوضع عدة لفيفات من موصل بجانب بعضها البعض ، نحصل على ملف . وإذا كان طوله هذا الملف كبيرا بالنسبة لقطره ، نلاحظ أن تأثير هذا اللف عندما يمر خلاله تيار كهربائى ، يشبه تماما تأثير قضيب مغنطيسى (الشكل ٩٩) .



شكل ٩٩ : المجالات المغنطيسية لقضيب مغنطيسى وملف حامل للتيار الكهربائى .



شكل ٩٨ : تراكب المجالات المغنطيسية فى ملف حامل للتيار الكهربائى .



شكل ١٠٠ :

ويمكن بسهولة معرفة قطبية الملف الحامل للتيار بمساعدة القاعدتين التاليتين :

قاعدة عقرب الساعة :

عند النظر إلى فتحة ملف ، يكون طرف الملف المواجه للناظر هو القطب الجنوبى إذا مر التيار عبر الملف فى اتجاه حركة عقارب الساعة ، ويكون هو القطب الشمالى إذا مر التيار فى اتجاه عكس حركة عقارب الساعة .

قاعدة الإبهام (الشكل ١٠٠) :

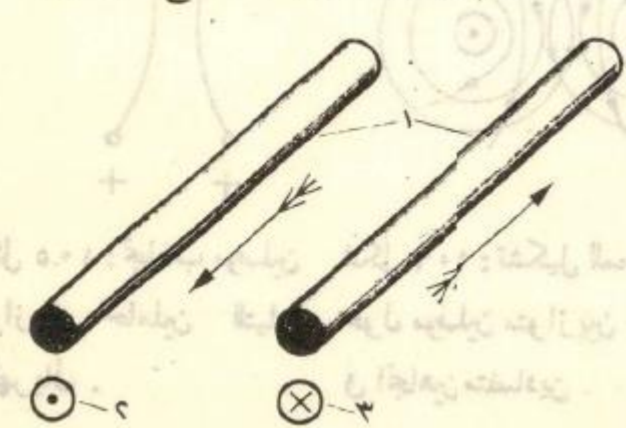
عند القبض على ملف باليد اليمنى ، بحيث تشير أطراف الأصابع لاتجاه سريان التيار بالملف ، يبين الإبهام الممتد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى داخل الملف ، ويبين طرف الإبهام موضع القطب الشمالى .

(ج) القوى المؤثرة بين الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائى :

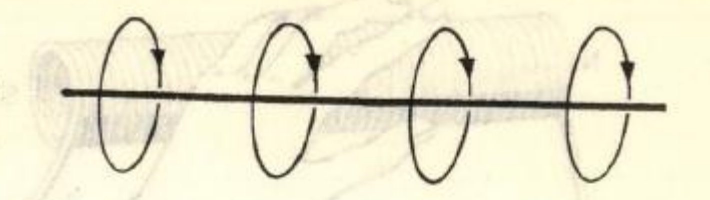
بالإضافة إلى ما سبق شرحه بالنسبة لتأثير المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائى على نبائط مثل الإبر المغنطيسية ، يفرض البحث نفسه لإيجاد التأثير المتبادل بين المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة لتيار الكهربائى .

التجاذب والتنافر بين الموصلات المتوازية :

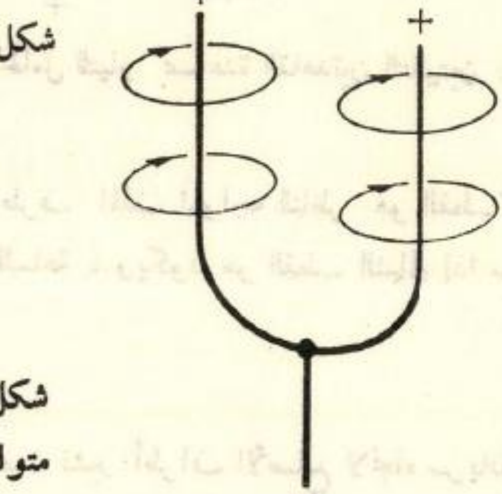
تستخدم هذه الطريقة بكثرة لبيان اتجاه التيار فى موصل . ويبين الشكل (١٠١) قطعتين من موصلين ، ويوضح اتجاه التيار فى كل منهما بسهم مواز لهما . وعند النظر إلى المقطع المستعرض للموصل يظهر رأس السهم على هيئة نقطة ، فى هذه الحالة يكون اتجاه التيار نحو الناظر . وإذا كان سريان التيار فى اتجاه عكسى ، تظهر مؤخرة السهم على هيئة صليب عند مقطع الموصل .

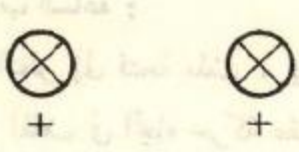


شكل ١٠١ : إيضاح لاتجاه التيار فى الموصلات.
١ — قطعتان لموصلين وموضح عليهما اتجاه سريان التيار .
٢ — يسرى التيار فى اتجاه الناظر .
٣ — يسرى التيار فى الاتجاه العكسى للناظر .



شكل ١٠٢ : موصل مستقيم وعليه خطوط المجال المغنطيسى :





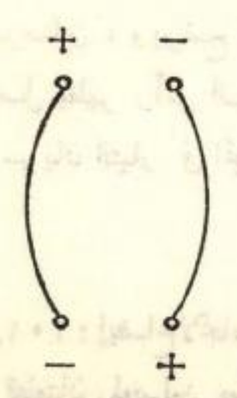
شكل ١٠٣ : موصل بشكل حرف U .

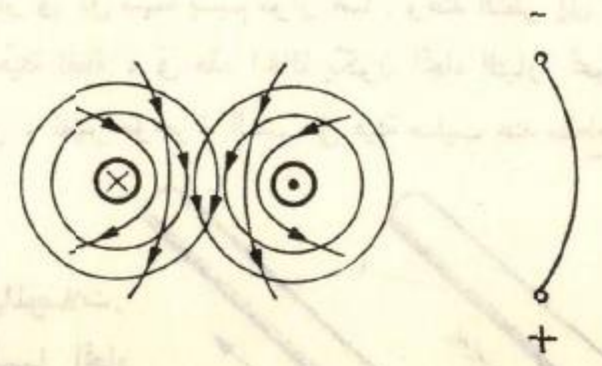
شكل ١٠٤ : تمثيل للمجال المغنطيسى لموصلين متوازيين يحملان التيار فى نفس الاتجاه .

ويبين الشكل (١٠٢) موصلا كهربائيا وخطوط المجال المغنطيسى تحيط به . وبثنى هذا الموصل كما فى الشكل (١٠٣) ، يكون الفيض المغنطيسى كما هو مبين فى الشكل (١٠٤) .

وباستخدام موصلين من النوع المرن بدلا من النوع الصلد ، يحدث تجاذب متبادل بينهما عند مرور تيار بشدة كافية خلالهما (الشكل ١٠٥) .

وعندما يمر التيار عبر الموصلين المتوازيين فى اتجاه يضاد أحدهما الآخر ، تكون خطوط الفيض النموذج المبين بالشكل (١٠٦) . وعندما تمر التيارات الكهربائية عبر الموصلات فى اتجاه يضاد أحدهما الآخر يتنافر الموصلان مع بعضهما البعض .

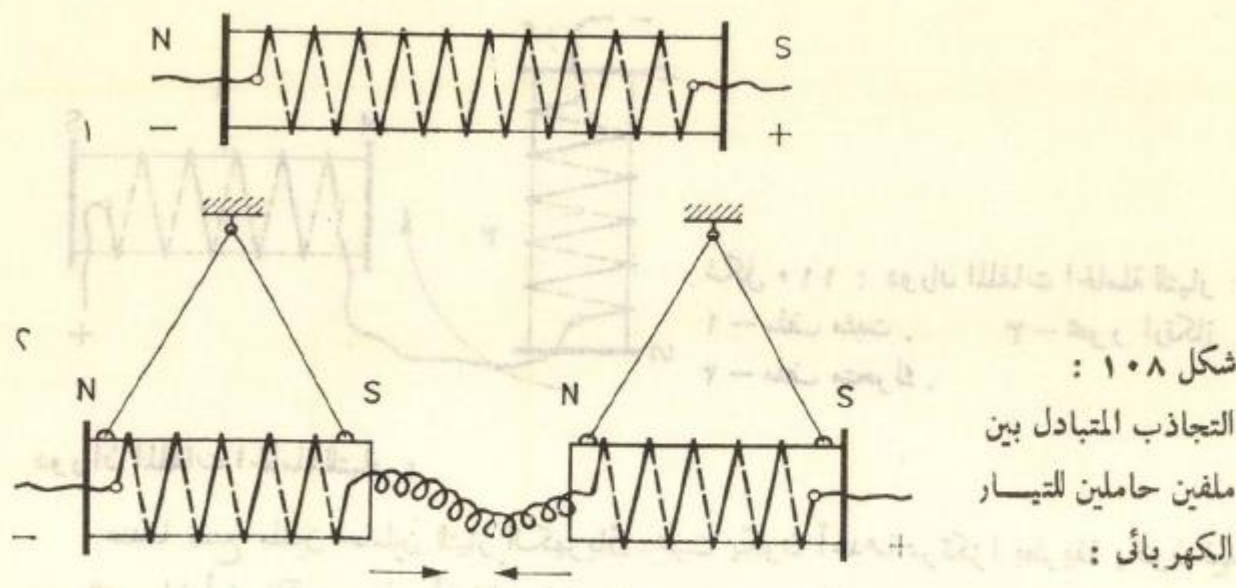




شكل ١٠٥ : تجاذب موصلين متوازيين حاملين للتيار الكهربائى .

شكل ١٠٦ : تشكيل المجال للغنطيسى حول موصلين متوازيين حاملين للتيار فى اتجاهين متضادين .

شكل ١٠٧ : التنافر المتبادل بين موصلين متوازيين حاملين للتيار الكهربائى .



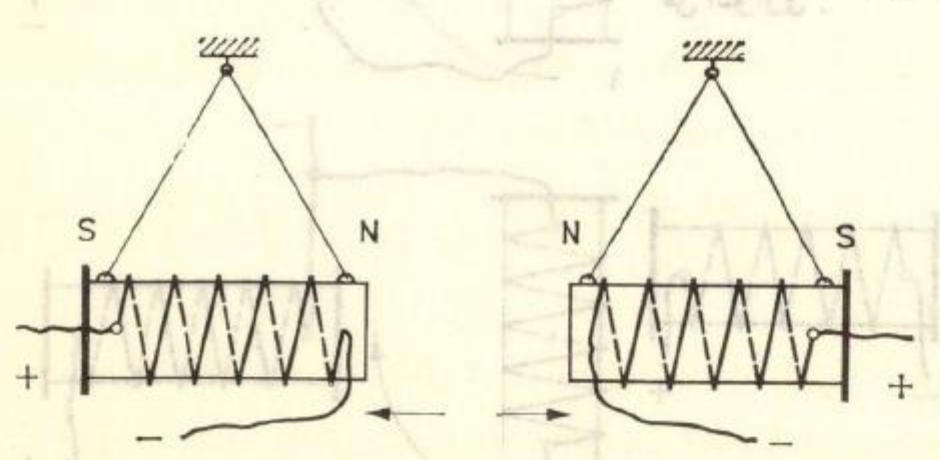
شكل ١٠٨ : التجاذب المتبادل بين ملفين حاملين للتيـــار الكهربائى :

١ – ملف طويل ومبين عليه اتجاه التيار وقطبيه .

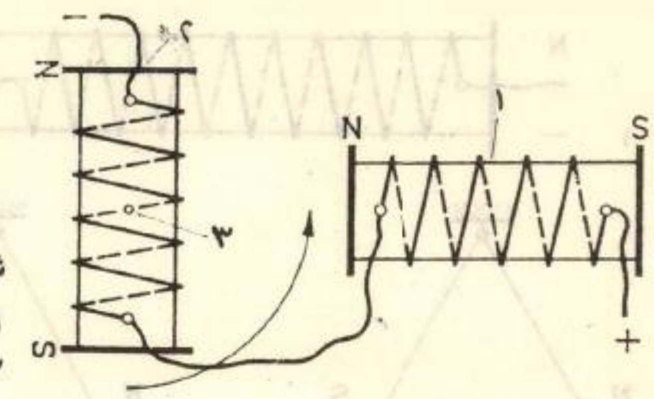
٢ – نصفا ملف حامل للتيار فى نفس الاتجاه .

التجاذب والتنافر بين الملفات الحاملة للتيار الكهربائى :

بمقارنة تصرف الملفات الحاملة للتيار الكهربائى بالقضبان المغنطيسية يتضح وجود تشابه بينهما من حيث المجال المغنطيسى والقطبية . ويؤدى هذا إلى حدوث نفس الظاهرة التى تلاحظ عند تقسيم قضبان المغنطيسات ، وذلك عند تقسيم الملفات . وكما سبق ذكره ، فإن تقسيم القضيب المغنطيسى إلى قسمين ينتج عنه مغنطيسين بقطبية عكسية عند مستوى المقطع ، ولذلك فإنهما يتجاذبان بعد التقسيم . وينطبق هذا تماما على الملفات الحاملة للتيار الكهربائى، كما هو مبين بالشكل (١٠٨). وينقسم الملف (١) إلى النصفين المعلقين والموصلين بالطريقة الموضحة فى (٢) . وبإمرار التيار الكهربائى عبر هذه الترتيبة ، يتجاذب الملفان ، ولكنهما يتنافران عند عكس اتجاه التيار فى أحدهما (الشكل ١٠٩) .



شكل ١٠٩ : تنافر متبادل لملفين حاملين لتيارين فى اتجاهين متضادين .



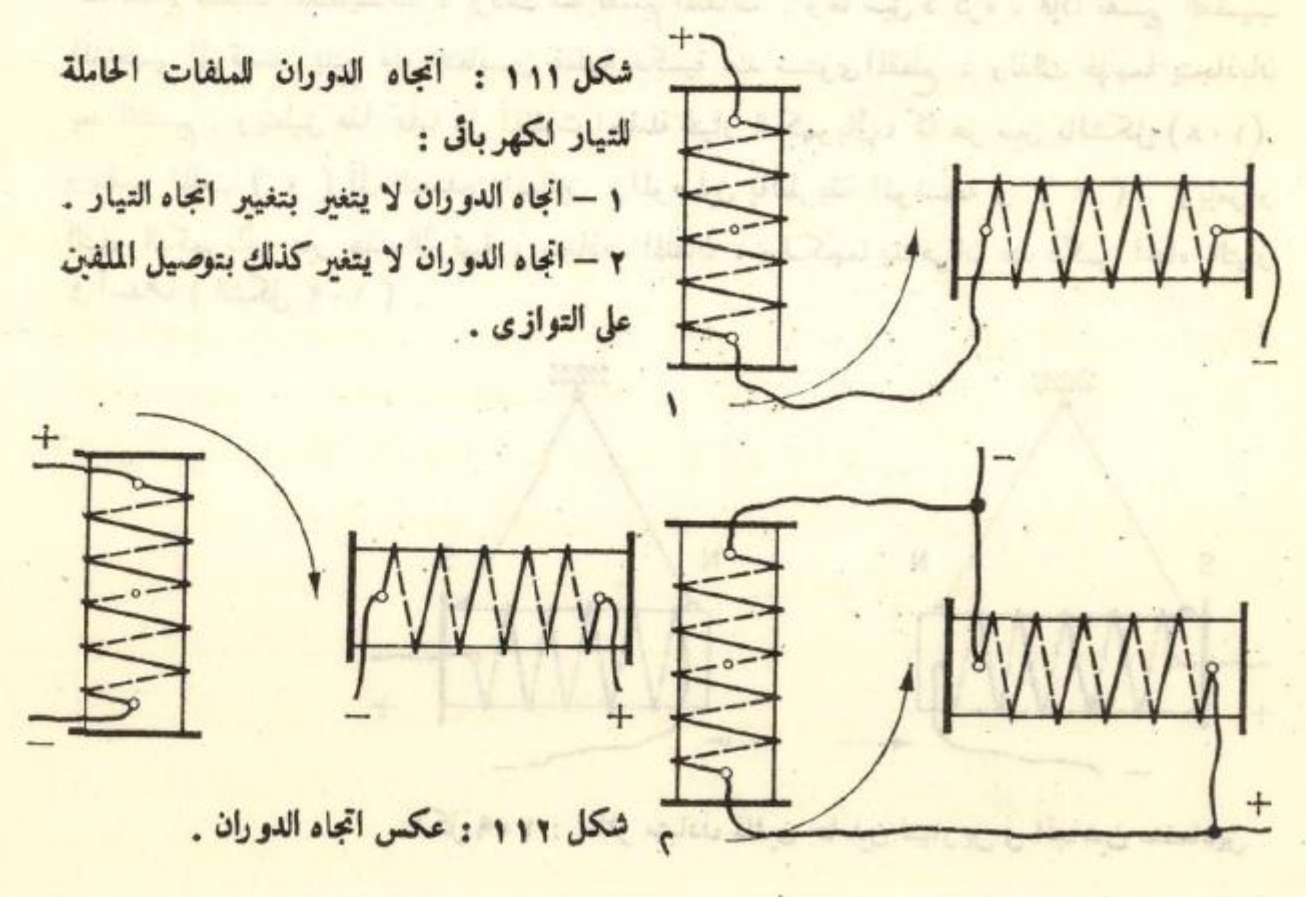
شكل ١١٠ : دوران الملفات الحاملة للتيار :
١ – ملف مثبت .   ٣ – محور ارتكاز .
٢ – ملف متحرك .

دوران الملفات الحاملة للتيار :

عندما نضع ملفين حاملين للتيار الكهربائى، بحيث يكون أحدهما مرتكزا بطريقة يكون فيها حر الدوران أمام الآخر ، نجد أن الملف الحر الدوران يتصرف كما هو مبين بالشكل (١١٠) .

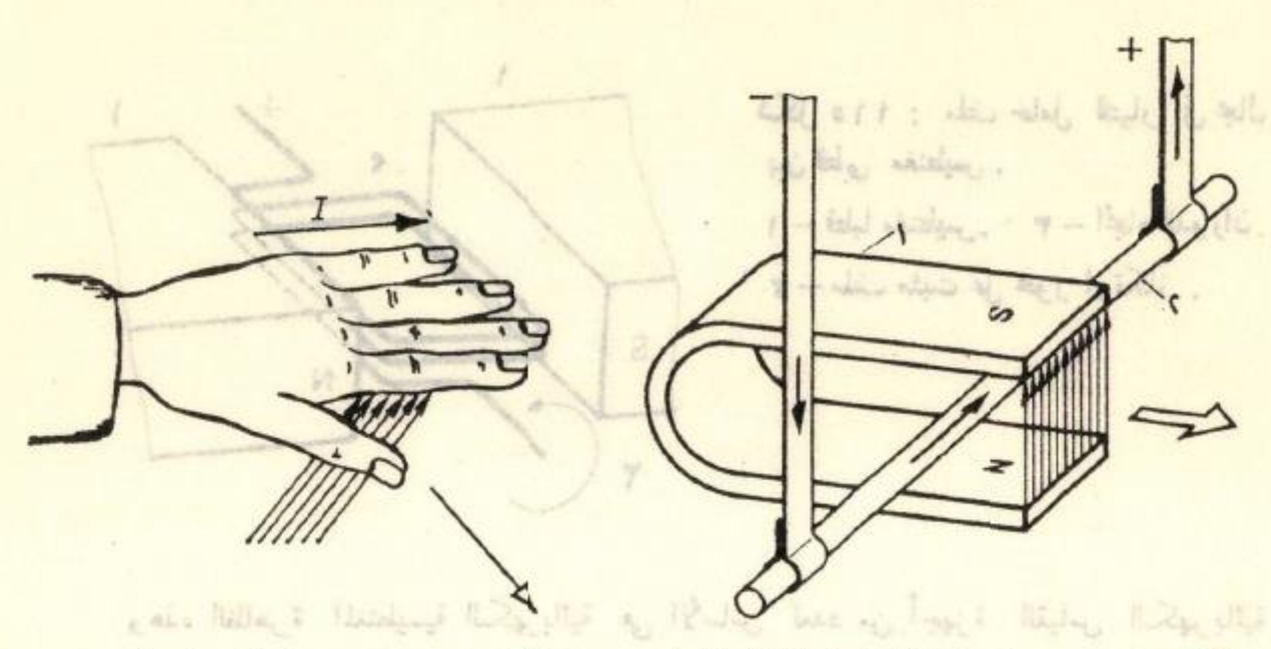
وبإمرار التيار عبر هذه الترتيبة ، يدور الملف القابل للدوران ، حتى يصبح قطبه الجنوبى مقابلا للقطب الشمالى للملف الثابت . ويكون اتجاه اللف لكلا الملفين واحدا . ونحصل على نفس اتجاه الدوران بعكس التيار الكهربائى المار عبر كلا الملفين ، أو بمعنى آخر ، بعكس القطبية (الشكل ١١١ – ١) . ونحصل أيضا على نفس اتجاه الدوران كما فى الحالتين السابقتين بتوصيل الملفين على التوازى كما فى الشكل (١١١ – ٢) .

ونحصل على عكس اتجاه الدوران بتوصيل الملفين كما هو مبين بالشكل (١١٢) .



شكل ١١١ : اتجاه الدوران للملفات الحاملة للتيار الكهربائى :
١ – اتجاه الدوران لا يتغير بتغيير اتجاه التيار .
٢ – اتجاه الدوران لا يتغير كذلك بتوصيل الملفين على التوازى .

شكل ١١٢ : عكس اتجاه الدوران .



شكل ١١٣ : موصل حامل للتيار فى المجال المغنطيسى لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان :
١ – مغنطيس حدوة الحصان . ٢ – موصل متحرك .

شكل ١١٤ : توضيح لقاعدة اليد اليسرى .

وتستغل هذه الظاهرة فى آليات الحركة الديناميكية الكهربائية ، حيث يكون انحرف المؤشر المثبت فى الملف المتحرك ، هو قياس للكية الكهربائية . وسيرد فيما بعد وصف تفصيلى لهذه النبائط .

(د) الملفات والموصلات الحاملة للتيار الكهربائى فى مجال مغنطيسى :

والسؤال الذى يطرح نفسه ، هو كيفية تصرف الوصلات والملفات الحاملة للتيار فى المجالات المغنطيسية التى تنتجها المغنطيسيات الصناعية (المغنطيسات الدائمة) .

الموصلات الحاملة للتيار الكهربائى فى مجال مغنطيسى :

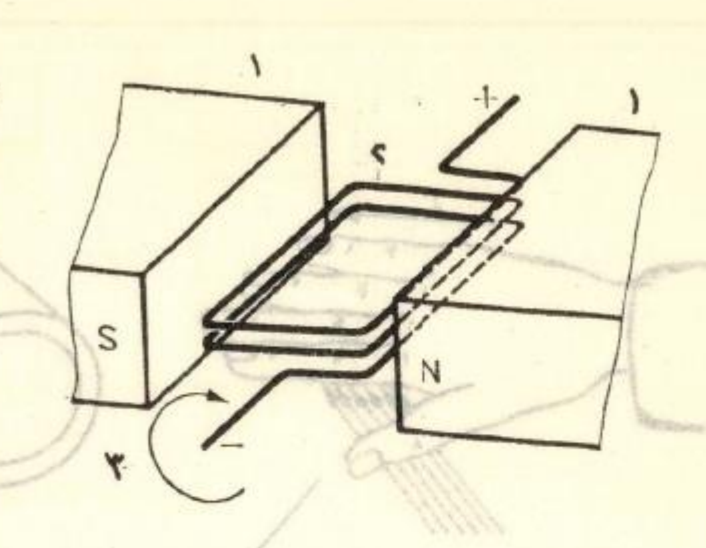
يبين الشكل (١١٣) موصلا حاملا للتيار فى مجال مغنطيسى لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان . عندما يحمل الموصل التيار ، فإنه يدفع خارج المجال المتنطيسى (ينحرف) . ولإيضاح ذلك ، يعلق الموصل بشريحى توصيل . ويلاحظ أن هناك علاقة متبادلة بين اتجاه التيار ، ووضع المجال المغنطيسى ، واتجاه الانحراف ، وذلك عند إمرار تيار ذى شدة كافية عبر الترتيبة . ويعبر عن هذه العلاقة بالطريقة التالية المعروفة بقاعدة اليد اليسرى :

إذا كانت خطوط الفيض المغنطيسى تخترق راحة اليد ، بينما تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار الكهربائى ، فإن الإبهام الممتد يشير إلى اتجاه الانحراف .

الملف الحامل للتيار فى مجال مغنطيسى :

يبين الشكل (١١٥) ملفا حاملا للتيار فى مجال مغنطيسى على هيئة حدوة الحصان .

يدور الملف عندما يمر عبره تيار كهربائى بشدة كافية . ويمكن معرفة اتجاه الدوران بمساعدة قاعدة اليد اليسرى .



شكل ١١٥ : ملف حامل للتيار فى مجال بين قطبى مغنطيس .
١ – قطبا مغنطيس. ٣ – اتجاه الدوران.
٢ – ملف مثبت على محور ارتكاز .

وهذه الظاهرة المغنطيسية الكهربائية هى الأساس لعدد من أجهزة القياس الكهربائية والمحركات الكهربائية التى ستناقش فى أقسام مستقلة من الكتاب .

٩/٤ – كميات لتحديد قيمة المجالات المغنطيسية :

(ا) الموصلية المغنطيسية – النفاذية :

عندما نضع مغنطيسا صغيرا فى مجال مغنطيسى يحدث تأثير ديناميكى يجذب أو يبعد هذا المغنطيس ، ويعتمد ذلك على وضع المغنطيس بالنسبة للمجال المغنطيسى . ويمكن قياس مثل هذا التأثير الديناميكى على سبيل المثال بواسطة ميزان زنبركى .

ويمكن لمجالين مغنطيسيين لهما نفس المدى أن يحدثا تأثيرين ديناميكيين مختلفين على مغنطيس صغير جدا . وهناك عدة أسباب لهذه الظاهرة نشرحها فيما يلى :

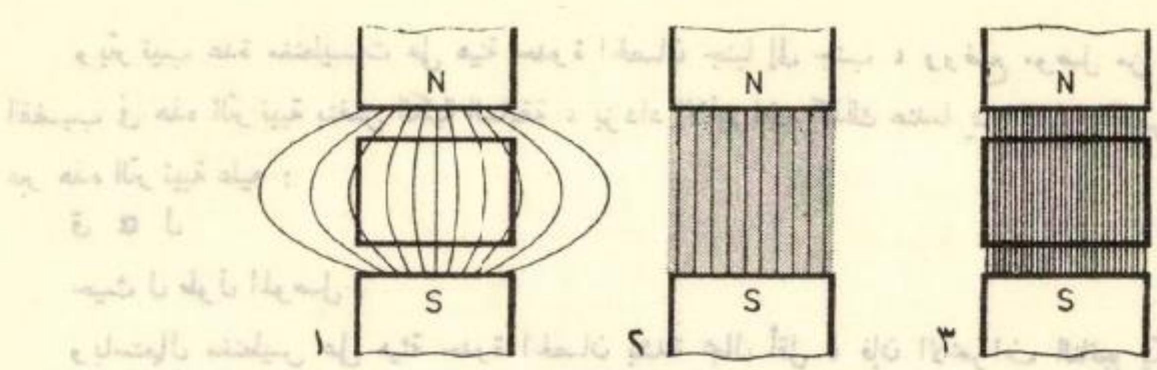
يكون للمجال المغنطيسى الذى يحدث قوة أكبر على مغنطيس ، خطوط مغنطيسية للفيض « كثافتها أعلى » من المجال الآخر الذى له نفس المدى والذى يحدث قوة أقل على هذا المغنطيس . وتعتمد كثافة خطوط المجال المغنطيسى على نوع المادة التى يحدث فيها هذا المجال . وتسمى خاصية المادة التى تؤثر على كثافة خطوط المجال المغنطيسى « الموصلية المغنطيسية » أو « النفاذية » ويرمز لهذه الكمية بالرمز μ (ميو) .

(ب) المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية :

النفاذية لمادة ما هى عدد يعبر عن انحراف الموصلية المغنطيسية لهذه المادة عن تلك الخاصة بالهواء ($\mu = ١$) .

فالمواد التى تؤثر على المجال المغنطيسى فتقلل كثافة خطوط المجال المغنطيسى (مثل البزموث والنحاس الأحمر والانتيمون والذهب) تسمى « مواد ديا مغنطيسية » ونفاذيتها μ = ١ .

وأما المواد التى تؤثر على المجال المغنطيسى فتزيد من كثافة خطوط المجال المغنطيسى (مثل



شكل ١١٦ : المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية :

١ – تشكيل للمجال المغنطيسى فى وسط دايا مغنطيسى .

٢ – تشكيل للمجال المغنطيسى فى الهواء كوسط .

٣ – تشكيل للمجال المغنطيسى فى وسط بارا مغنطيسى .

الألومنيوم والبلاتين وفى نطاق مدى معين لدرجة الحرارة (الحديد والصلب والكوبلت والنيكل) ، فتسمى « مواد بارا مغنطيسية » ونفاذيتها μ > ١ (الشكل ١١٦) .

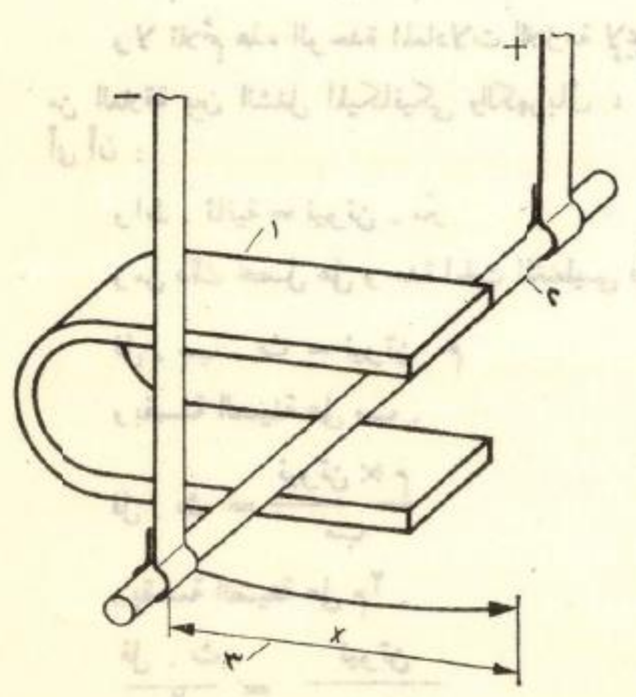
(ح) الحث المغنطيسى :

الكثافة الكلية لجميع خطوط المجال المغنطيسى تسمى كثافة الفيض المغنطيسى. **وهناك علاقة** بين الحث المغنطيسى والوحدة الميكانيكية للقوة (ق) وشدة التيار الكهربائى (ت) ، وتوضح هذه العلاقة بالاختبار التالى : يبين الشكل (١١٧) موصلا من نوع القضيب ، معلقا حرا فى المجال المغنطيسى لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان . وعند إمرار تيار كهربائى (ت) عبر هذا الموصل ، فانه ينحرف بعيدا عن المجال المغنطيسى . والقوة (ق) التى تؤثر على الموصل تميز بطول هذا الانحراف (س) . وعلى هذا فإن :

ق α س

ويقل الانحراف عند تخفيض شدة التيار المار عبر الموصل ، ويزيد هذا الانحراف بازدياد شدة التيار . وعليه يتضح أن القوة (ق) تتناسب طرديا مع شدة التيار (ت) .أى أن :

ق α ت



شكل ١١٧ : الحث المغنطيسى :

١ – مغنطيس على هيئة حدوة الحصان .

٢ – موصل قابل للحركة .

٣ – انحراف (س) نتيجة إمرار التيار .

وبترتيب عدة مغنطيسات على هيئة حدوة الحصان جنبا إلى جنب ، ووضع موصل من نوع القضيب فى هذه الترتيبة بنفس الكمية السابقة ، يزداد الانحراف كذلك عندما يمر التيار الكهربائى عبر هذه الترتيبة عليه :

ق α ل

حيث ل طول الموصل .

وباستعمال مغنطيس على هيئة حدوة الحصان بشدة مجال أقل ، فإن الانحراف الناتج يكون أصغر ، وذلك بإمرار نفس شدة التيار (ت) ، ويكون للموصل نفس الطول كما فى الترتيبة السابقة .

وإذا كانت شدة المجال المغنطيسى المستعمل فى هذه التجربة أعلى ، فإن الانحراف الناتج (س) ، يزداد تحت نفس الظروف بالنسبة لشدة التيار وطول الموصل (ت ، ل) كما فى التجربة السابقة .

وبإدخال شدة المجال المغنطيسى فى هذه العلاقة : ق α ت × ل نحصل على هذه الصيغة :
ق = $ف_م$ × ت × ل حيث $ف_م$ (B) هو الحث المغنطيسى. وبحل هذه الصيغة لإيجاد $ف_م$ ينتج :

$$(ف_م) = \frac{ق}{ت \times ل}$$

ونحصل على الوحدة التالية ، إذا عبر عن (ق) بالنيوتن ، وشدة التيار (ت) بالأمبير (مب) والطول ل بالمتر (م) .

$$ف_م = \frac{نيوتن}{مب \times م}$$

ولا تلائم هذه الوحدة المعادلات اللازمة لإيجاد قيم المجال المغنطيسى . وقد اشتقت وحدة أخرى من العلاقة بين الشغل الميكانيكى والكهربائى ، كما هو معروف فى نظام الوحدات المستخدمة هنا أى أن :

واط . ثانية = نيوتن . متر

ومن ذلك نحصل على وحدة الحث المغنطيسى $ف_م$

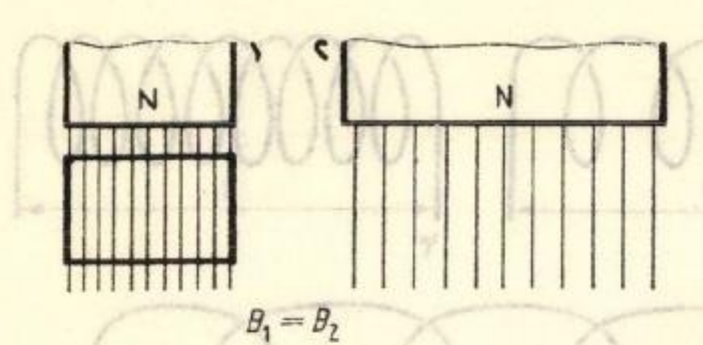
فل . مب . ث = نيوتن . م

وبقسمة الصيغة على مب .

$$فل . ث = \frac{نيوتن \times م}{مب}$$

وبقسمة الصيغة على $م^2$.

$$\frac{فل . ث}{م^2} = \frac{نيوتن}{مب \times م}$$



شكل ١١٨ : إيضاح الفيض المغنطيسى :
١ – عدد كبير من خطوط المجال المغنطيسى فى وحدة المساحة .
٢ – عدد أصغر من خطوط المجال المغنطيسى فى وحدة المساحة.

$$\frac{\text{فلط} \times \text{ثانية}}{\text{متر مربع}} = \frac{\text{نيوتن}}{\text{أمبير} \times \text{متر}}$$

ف م (B) لها نفس القيمة فى كلتا الحالتين :

وتكتب أيضا الوحدة ($\frac{\text{فل . ث}}{\text{م}^2}$) للحث المغنطيسى ف م $\frac{\text{وبر}}{\text{م}^2}$ لأنه يطلق على « فلط . ثانية » المصطلح « وبر » نسبة إلى عالم الطبيعيات وبر (Weber) .

وكثافة المجال المغنطيسى هى الحث المغنطيسى (ف م) ووحدته $\frac{\text{وبر}}{\text{م}^2}$

(د) الفيض المغنطيسى :

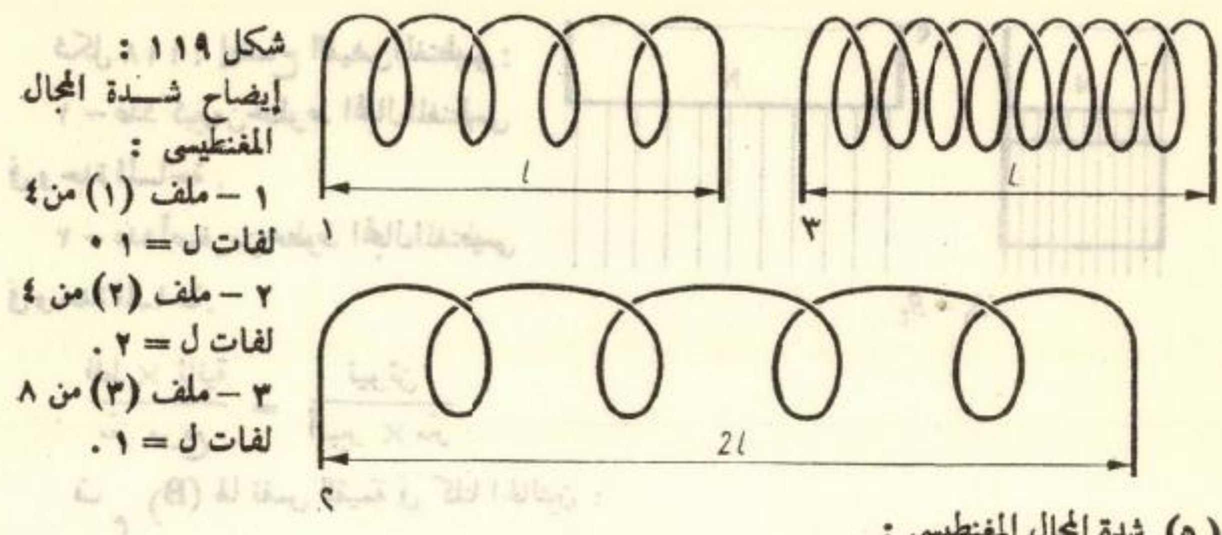
اعتبرنا حتى الآن الحث المغنطيسى بصرف النظر عن الحيز الذى يشغله المجال المغنطيسى . وعموما فإنه ليس لهذا الحيز أهمية كبيرة فى الهندسة الكهربائية ، بل الأهم هو مساحة مسار الفيض والتى تمر خلالها خطوط الفيض المغنطيسى عموديا عليها .

ويوضح الشكل (١١٨) مجالين مغنطيسيين لهما نفس الحث المغنطيسى ف م للمقارنة .

يستخدم الصلب فى الحيز الذى تمر عبره خطوط المجال فى حالة المجال المغنطيسى الذى حثه ف م١ (B_1) ، بينما يستخدم الهواء فى الحيز الذى تمر عبره خطوط المجال المغنطيسى الذى حثه ف م٢ (B_2) . ويتضح أن المساحة التى تمر عبرها خطوط الحث فى الحالة الأولى تكون صغيرة نوعا عنها فى الحالة الثانية ، وذلك بالرغم من تساوى الحث المغنطيسى فى كلتا الحالتين . ولتمييز العلاقة بين كثافة الحث المغنطيسى (ف م) والمساحة (ج) التى يمر عبرها هذا الحث ، يطلق على حاصل ضرب هاتين الكميتين (ج × ف م) « الفيض المغنطيسى » ، ويرمز لها بالرمز Φ (فاى) ومن ذلك يتضح أن :

$$\Phi = \text{ف}_\text{م} \times \text{ج}$$

وحيث أن ف م يعبر عنها $\frac{\text{فل . ث}}{\text{م}^2}$ أو $\frac{\text{وب}}{\text{م}^2}$ والمساحة (ج) بالمتر المربع . فينتج أن وحدة الفيض المغنطيسى Φ هى الوبر (فل . ث) .



شكل ١١٩ : إيضاح شـدة المجال المغنطيسى :
١ – ملف (١) من ٤ لفات ل = ١ .
٢ – ملف (٢) من ٤ لفات ل = ٢ .
٣ – ملف (٣) من ٨ لفات ل = ١ .

(هـ) شدة المجال المغنطيسى :

يبين الشكل (٩٩) أن المجال المغنطيسى لكل من قضيب مغنطيسى وملف طويل يشبه كل منهما الآخر . ويمكن تحديد الحث المغنطيسى لكل منهما باستخدام أجهزة قياس مناسبة (مثل المغنيطومتر ، وهو جهاز يستخدم لقياس شدة المجال المغنطيسى) . والحث المغنطيسى هو كمية تعطى لإيجاد قيمة المجال المغنطيسى . ويمكن تعريف المجالات المغنطيسية الناتجة عن الملفات الحاملة للتيار بكمية أخرى على أساس العلاقة بين طول الملف وعدد لفيفات هذا الملف وشدة التيار الكهربائى المار عبره.

ويبين الشكل (١١٩) ثلاث ملفات ، قطر لفاتها ومقاس سلكها (مقطعه المستعرض) تعتبر متساوية . وعليه فإنه يميز بينهما بعدد لفاتها (ن) وطول ملفاتها (ل) فقط .

أولا : تمرر تيارات مختلفة الشدة عبر الملف (١) . ويقاس الحث المغنطيسى $\text{ف}_{\text{م}}$ فى كل حالة . وإذا أمررنا تيارا شدته أعلى ، يزداد الحث المغنطيسى كذلك . وعليه فإن :

$$\text{ف}_{\text{م}} \alpha \text{ ت}$$

وعندما تمرر تيارات لها نفس الشدة عبر الملف (١) أولا ، ثم عبر الملف (٣) ، فيبين تحديد الحث المغنطيسى فى كل حالة أنه يتضاعف بمضاعفة عدد اللفات ، بينما يكون طول الملفين متساويا ، وعليه فان :

$$\text{ف}_{\text{م}} \alpha \text{ ن}$$

وعندما نمرر تيارا له نفس الشدة ، أولا عبر الملف (١) ، ثم عبر الملف (٢) ، فإن هذه التجربة تبين أن قيمة الحث المغنطيسى فى الملف (٢) الذى طوله ضعف طول الملف (١) ولهما نفس عدد اللفات ، تكون نصف قيمة الحث المنطيسى فى الملف (١) . وهذا يعنى :

$$\text{ف}_{\text{م}} \alpha \frac{١}{\text{ل}}$$

وبإدماج هذه النتائج معا فى تعبير واحد نحصل على ما يلى : $\text{ف}_{\text{م}} \alpha \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}}$

ولكن المصطلح $\frac{ت \times ن}{ل}$ هو تعبير نسبى للحث المغنطيسى ، ورمزه هـ (H) ،وعليه تكون شدة المجال المغنطيسى :

$$هـ = \frac{ت \times ن}{ل}$$

ونظرا لأن عدد اللفات ن هو عدد ليس له أبعاد ، تكون وحدة شده المجال المغنطيسى (هـ) $\frac{مب}{م}$

ويمكن تحديد كثافة المجال المغنطيسى بالحث المغنطيسى ($ف_م$) معبرا عنه ($\frac{وب}{م^٢}$) ،أو بشدة المجال المغنطيسى (هـ) معبرا عنها ($\frac{مب}{م}$) . وهاتان الكميتان تتناسبان مع بعضهما البعض .

(و) النفاذية المطلقة لحيز المطلق :

طبقا للشرح السابق ، يمكن كتابة التناسب $ف_م \; \alpha \; \frac{ت \times ن}{ل}$ بالصيغة التالية :

$ف_م$ (B) α هـ (H) .

والتعبير عن هذه العلاقة بصيغة ، ندخل الثابت μ_o وقيمته :

$$\mu_0 = ٤ \; ط \times ١٠^{-٧} \frac{فل . ث}{مب \; م} = ١,٢٥٦ \times ١٠^{-٦} \frac{فل . ث}{مب . م}$$

وتساوى قيمة هذا الثابت « النفاذية المطلقة لحيز الطلق » ويطلق عليها أيضا « ثابت المجال المغنطيسى » .

ومن هذا ينتج أن :

$$ف_م = \mu 0 \; هـ$$

ويعطى الطرف الأيسر من هذه الصيغة الوحدات التالية :

$$\frac{فل . ث}{م . مب} \times \frac{مب}{م} = \frac{فل . ث}{م^٢} = \frac{وب}{م^٢}$$

وهى نفس وحدة الحث المغنطيسى ($ف_م$) .

(ز) النفاذية النسبية :

ويطلق أيضا على النفاذية μ التى كانت تسمى بالموصلية المغنطيسية « النفاذية المطلقة » . ويعبر عادة عن نفاذية مادة كضاعف للنفاذية المطلقة لحيز المطلق μ_0 ، وعليه فان :

$\mu = \mu_0 \times \mu$ نسبى

حيث $\mu 0$ نسبى هى النفاذية النسبية ، وهى عدد بدون أبعاد ، فمثلا μ نسبى للبزموث هى ٠٫٧٩٦

وعليه فان :

$$\mu = ١٫٢٥٦ \times ١٠^{-٦} \frac{\text{فل . ث}}{\text{مب . م}} \times ٠٫٧٩٦$$

$$= ٠٫٩٩٩٨ \times ١٠^{-٦} \frac{\text{فل . ث}}{\text{مب . م}}$$

ويبين ذلك أن التناسب الطردى لحث المغنطيسى وشدة المجال المغنطيسى (الشدة المغنطيسية) ، يمكن التعبير عنه بطريقتين :

$ف_م = \mu_0 \times \mu$ نسبى $\times$ ه ، أو $ف_م = \mu \times$ ه

(ح) تطبيق قانون أوم على دائرة مغنطيسية :

من تعريف مفهوم النفاذية ، والحث المغنطيسى ، والفيض المغنطيسى ، والشدة المغنطيسية ، يمكن استخلاص علاقة تشابه قانون أوم فى دائرة التيار المستمر .

نعرف أن :

$\Phi = ف_م \times$ جـ أيضا

حيث جـ = المساحة التى تمر بها خطوط الفيض .

$\Phi = \mu_0 \times \mu$ نسبى $\times$ ه $\times$ جـ

$= \mu \times$ ه $\times$ جـ

ويمكن أيضا كتابة ذلك كما يلى :

$\Phi = \mu \times \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}} \times$ جـ وتحلل إلى

$= \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}} : \frac{١}{\mu} \times \frac{١}{\text{جـ}}$ وترتب بالصيغة التالية :

$$= \frac{\frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}}}{\frac{\text{ل}}{\mu \times \text{جـ}}}$$

ويطلق على العلاقة $\frac{\text{ل}}{\mu \times \text{جـ}}$ المقاومة المغنطيسية ($م_م$)

وعليه فان : $م_م = \frac{\text{ل}}{\mu \times \text{جـ}}$

ويمكن أن نعتبر أن $م_م = \frac{ل}{\mu \times ج}$ كما هو الحال فى قانون المقاومة .

ويطلق على العلاقة : (ت × ن) « القوة الدافعة المغنطيسية الابتدائية » أو « الجهد المغنطيسى ».
ويرمز للقوة الدافعة المغنطيسية الابتدائية بالرمز Θ (ثيتا) ، وعليه ينتج أن :

$$\Phi = \frac{\Theta}{م_م}$$

وبالمناظرة مع قانون أوم فى دائرة التيار المستمر نجد :

$$ت = \frac{ج}{م}$$

والقوة الدافعة المغنطيسية الابتدائية أهمية عملية فى تصنيع المكنات الكهربائية ، حيث نحصل على المجالات المغنطيسية من ملفات يكون عدد لفاتها هو العامل الأساسى المعول عليه . ووحدة القوة الدافعة المغنطيسية هى « الأمبير » . وفى بعض الأحيان تستعمل « أمبير لفة » كوحدة للقوة الدافعة المغنطيسية . ولا يمكن أن يستعمل التعبير « أمبير لفة » رياضيا فى مجموعة الوحدات المستخدمة هنا .

٩/٥ — الملفات الحاملة للتيار بقلب حديدى :

(ا) المواد المغنطيسية الحديدية :

عند مناقشة الكميات اللازمة لتحديد المجال المغنطيسى ، شرحنا الموصلية المغنطيسية المسماة « نفاذية » . وفى هذا الشأن شرحنا العلاقة ف = μ هـ . وللاستطراد فى شرح المغنطيسية ، يجب أولا أن نعطى بعض التفاصيل للمواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية . وتكون قيمة μ لعديد من المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية مساوية تقريبا للواحد الصحيح . وعلى أى الأحوال ، هناك مجموعة للمواد البارا مغنطيسية ، تزيد قيمة μ فيها على واحد صحيح ($\mu >> ١$) بدرجة يمكن أخذها فى الاعتبار فى نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . ويطلق على هذه المواد « مواد مغنطيسية حديدية » وتشمل الحديد والنيكل والكوبلت وسبائكها ، وسبائك الكروم والمنجنيز .

وتميز المواد المغنطيسية الحديدية عن المواد الأخرى بأن نفاذيتها تعتمد على قيمة الشدة المغنطيسية هـ . وهذا يعنى أن نفاذية المواد المغنطيسية الحديدية تعتمد بدرجة ما على قيمة هـ خلال نطاق معين لهذه القيمة . ويعنى ذلك بالتالى أنه باستخدام المواد المغنطيسية الحديدية كوسط فى المجال المغنطيسى، فإن الحث المغنطيسى ($ف_م$) سيزداد مقابل زيادة طفيفة فى شدة المجال المغنطيسى (هـ) . وذلك بمعدل أعلى —اعتباريا— من المعدل الذى نحصل عليه فى الهواء كوسط .

(ب) التمغنط ، والتشبع :

لتحديد قيمة الحث المغنطيسى لمجال مغنطيسى نتيجة لتأثير مغنطيسية حديدية ، تمغنط هذه المادة مبتدئين بشدة مجال هـ = صفر . ونرسم القيم $ف_م$ التى نحصل عليها مقابل (هـ) .

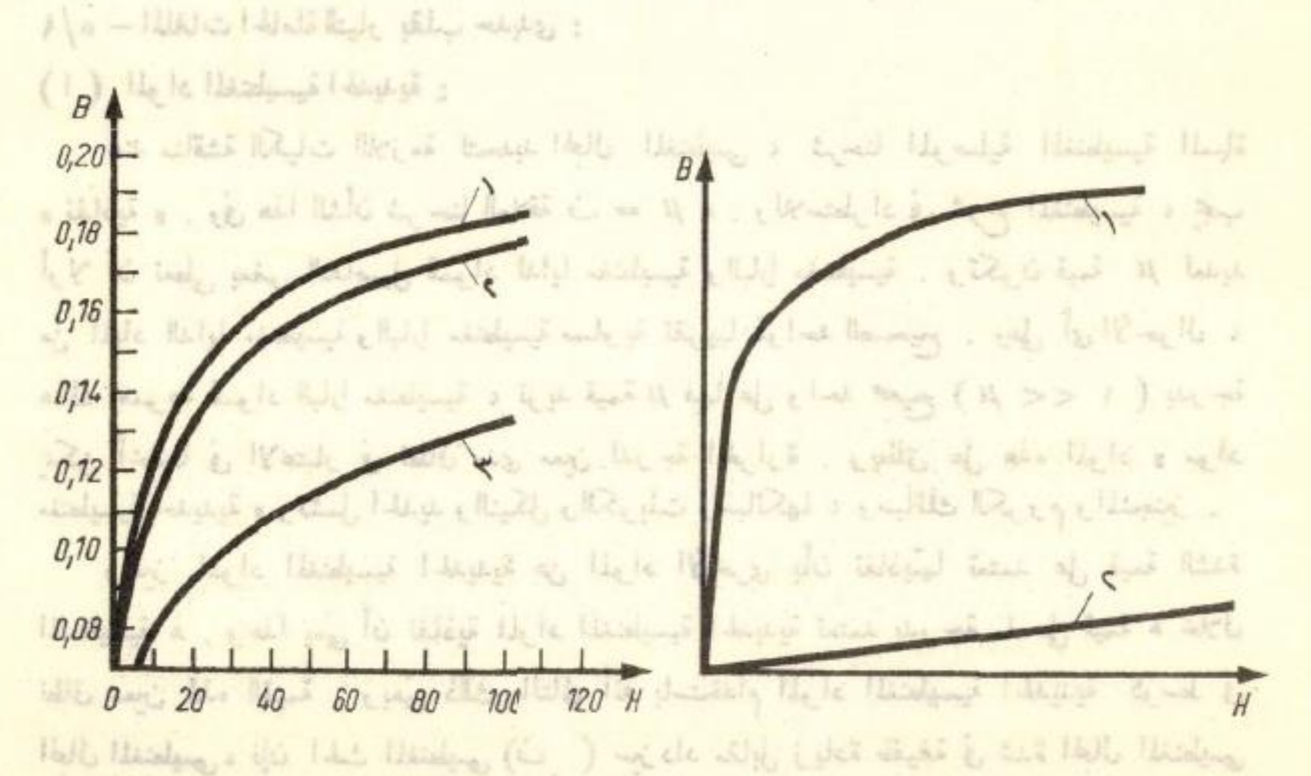
ينتج منحنى مميز للمادة المغنطيسية الحديدية المستعملة . ونحصل على القيم المختلفة (ه) عمليا بزيادة شدة التيار (ت) باستمرار ، بينما يبقى عدد الفات (ن) والطول (ل) ثابتين ، للملف المستخدم فى التجربة .

ويبين الشكل (١٢٠) منحنى التمغنط لمادة مغنطيسية حديدية . وللمقارنة نرسم قيم الحث المغنطيسى التى نحصل عليها فى حالة استخدام الهواء كوسط .

وإذا وصلنا إلى قيمة معينة لشدة المجال المغنطيسى ، بعدها لا تزيد قيمة الحث المغنطيسى بزيادة شدة المجال ، وقد تكون الزيادة غير ملحوظة باستخدام مادة مغنطيسية حديدية كوسط . ومن هذه النقطة يبقى المنحنى ثابتا ، ويوضح هذا تشبع المغطيس أو حد التشبع .

ويوضح الشكل (١٢١) منحنيات التمغنط لبضع مواد مغنطيسية حديدية مستخدمة فى الهندسة الكهربائية . ويعبر عن ف بالوحدة $\frac{\text{وبر}}{\text{متر مربع}}$ ($\frac{\text{وب}}{\text{م}^2}$) ، ه بالوحدة $\frac{\text{مب}}{\text{سم}}$

ويطلق على هذه المنحنيات فى حالة المواد التى لم يسبق تمغنطها « منحنيات بكر » أو « منحنيات أولية » ويوضح ذلك فيما بعد :



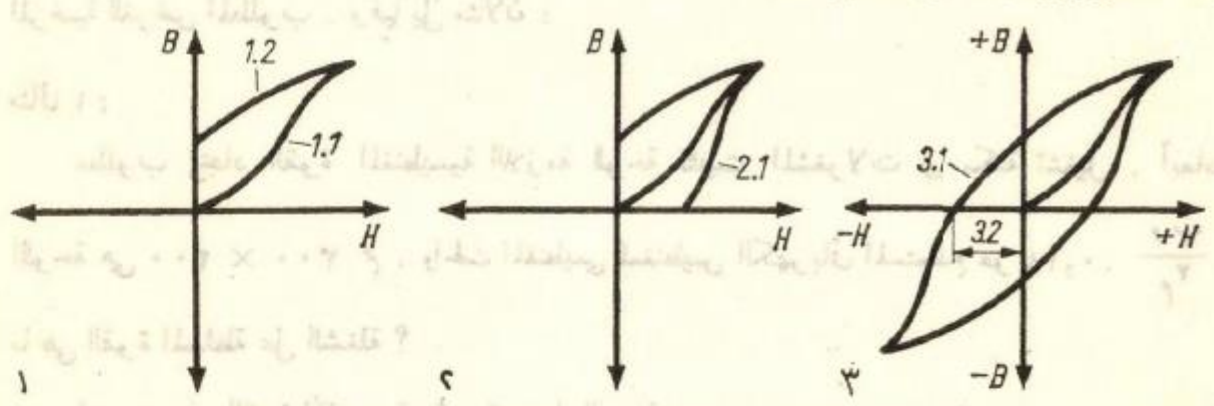
شكل ١٢٠ : منحنى التمغنط لمادةمغنطيسية حديدية :
١ – منحنى لمادة مغنطيسية حديدية .
٢ – المنحنى الذى نحصل عليه باستخدام الهواء كوسط .

شكل ١٢١ : منحنيات تمغنط :
١ – شريحة دينامو .
٢ – غلاف صلب .
٣ – حديد زهر .

(ج) التخلفية :

يوضح الشكل (١٢٢ - ١) طريقة التجربة التالية : تقطع عملية التمغنط عند أى قيمة مناسبة للمنحنى الأولى (١ ، ١) - وتخفض قيمة شدة المجال المغنطيسى (هـ) باستمرار بخفض قيمة شدة التيار (ت) وتقاس قيم ف م فى كل حالة ، ونرسم القيم التى نحصل عليها مقابل قيم (هـ) على منحنى بيانى . يأخذ المنحنى مسارا آخر (١ ، ٢) ، أى تساوى الشدة المغنطيسية (هـ) صفرا ، عندما يكون الحث المغنطيسى ف م أعلى من الصفر .

وباستمرار عملية التمغنط ، نحصل على منحنى التمغنط (٢ ، ١) فى الشكل (١٢٢ - ٢) وهذا المنحنى يحيد أيضا عن المنحنى الأولى .



شكل ١٢٢ : تطور أنشوطة التخلفية :

١ - ١,١ - منحنى أولى .
١,٢ - منحنى بعد التمغنط العكسى .
٢ - ١,٢ - منحنى بعد التمغنط مرة ثانية .
أنشوطة التخلفية .
١,٣ - إستبقائية .
٢,٣ - قوة قهرية .

وبعكس اتجاه التيار تبدأ عملية الرجوع للتمغنط ،وتسمى « تمغنط عكسى » ، ونحصل على منحنى يطلق عليه أنشوطة التخلفية . ويسمى تصرف المادة الذى يوضحه منحنى العلاقة (ف - هـ) « التخلفية » ، حيث لا ينطبق المنحنى الناشئ عن تخفيض (هـ) على ذلك الذى ينشأ بزيادتها ، ويعنى هذا المصطلح « يتخلف عن » . ونجد فى الجزء (٣ ، ١) للمنحنى فى الشكل (١٢٢ - ٣)، أن قيمة الحث المغنطيسى (ف م) لا تصل إلى الصفر ، إلا إذا وصلت قيمة الشدة المغنطيسية (هـ) إلى قيمة معينة فى عكس الاتجاه . ويسمى هذا الجزء من الحث المغنطيسى « المغنطيسية المتبقية » أو « الاستبقائية » . (الفصل التاسع - البند الأول)،ويطلق على الشدة المغنطيسية (هـ) اللازمة لإزالة الاستبقائية « القوة القهرية » .

ويميز فى الهندسة الكهربائية بين المواد الصلدة والمواد الطرية مغنطيسيا . ويلزم للمواد الصلدة مغنطيسيا قوة قهرية أكبر لإزالة الاستبقائية ، بينما تحتاج المواد الطرية مغنطيسيا إلى قوة قهرية

أصغر . وتبعا لذلك تكون أنشوطة التخلفية للمواد المغنطيسية الصلدة ، أوسع اعتباريا من تلك الخاصة بالمواد المغنطيسية الطرية .

(د) المغنطيسات الكهربائية :

تستخدم ملفات لها قلوب من مواد مغنطيسية حديدية كمغنطيسات كهربائية ، على هيئة مغنطيسات رفع ، كما فى المغنطيسات المستعملة فى المرحلات والملامسات والقوابض المغنطيسية والصمامات المغنطيسية ، وهذا على سبيل المثال لا الحصر . ويصعب تحديد القوة الناتجة عن المغنطيس بدقة كافية .

وعموما ، تستخدم فى الحياة العملية طرق حسابية تعطى قيما تقريبية ، ولكنها تضمن النتائج المرضية للغرض المطلوب . وفيما يلى مثالان :

مثال ١ :

مطلوب إيجاد القوة المغنطيسية اللازمة لوحة تثبيت المشغولات فى مكنة تشغيل . أبعاد اللوحة هى ٢٠٠ × ٣٠٠ مم . والحث المغنطيسى للمغنطيس الكهربائى المستخدم هو ٠,١٨ $\frac{\text{وب}}{\text{م}^2}$

ما هى القوة المسلطة على الشغلة ؟

لتحديد هذه القوة لأقرب قيمة ، تستعمل الصيغة :

$$\text{ق} = \frac{\text{ف}_\text{م}^2 \times \text{جـ}}{0{,}25}$$

حيث جـ هى المساحة بالسم^2

معطيات : $\text{ف}_\text{م} = 0{,}18 \ \frac{\text{وب}}{\text{م}^2}$

جـ = الطول × العرض

= ٢٠,٠ × ٣٠,٠ = ٦٠٠ سم^2

المطلوب : ق بالكيلو بوند (كب)

الحل :

$$\text{ق} = \frac{(0{,}18)^2 \times 600}{0{,}25}$$

ف = ٧٨ كيلو بوند

مثال٢ : القوة الفعالة على الشغلة قدرها حوالى ٧٨ كيلو بوند

وتجذب أعضاء الإنتاج إلى المرحلات المستخدمة فى هدسة المواصلات عند ١٠٠ ت × ن (أمبير لفة) عندما تحمل هذه المرحلات بتلامس تشغيل . إذا كان المطلوب جذب هذا المرحل عند جهد ج = ٢٤ فلط ومقاومة م = ١٠٠٠ Ω ، يمكن حساب عدد اللفات لهذا المرحل بالكيفية التالية :

$$ت = \frac{ج}{م} ، ت = \frac{٢٤ \text{ فلط}}{١٠٠٠ \ \Omega} ، ت = ٠,٠٢٤ \text{ أمبير}$$

من ذلك يمكن حساب عدد اللفات من

$$ن = \frac{١٠٠ \text{ أمبير لفة}}{٠,٠٢٤ \text{ أمبير}} ، ن = ٤١٦٧ \text{ لفة}$$

ويجب إيجاد قيمة طول السلك طبقا لمقاس وشكل الملف ، مع أخذ المقاومة م = ١٠٠٠Ω فى الاعتبار .

ويمكن بعد ذلك إيجاد قيمة مقطع السلك .

الفصل العاشر

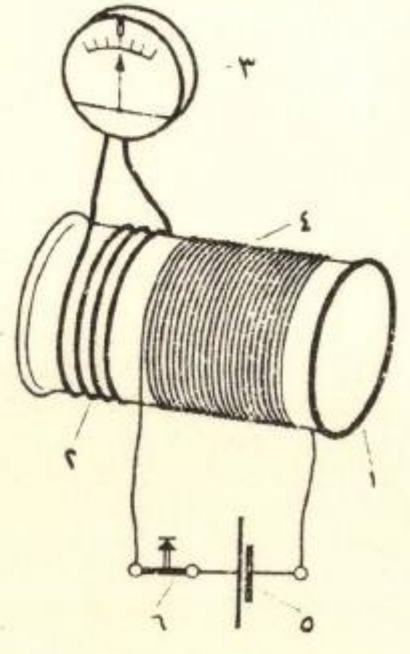
الحث المغنطيسى الكهربائى

١٠/١ – اختبار فاراداى :

أدت أبحاث فاراداى (١٧٩١ – ١٨٦٧) إلى الاستخدام العالمى الواسع النطاق للكهرباء كطاقة نافعة للغاية يمكن توزيعها وتحويلها إلى أشكال أخرى منها بطرق بسيطة نسبيا دون أى فقد فى الزمن عمليا .

بنى فاراداى دراساته لظاهرة الحث المغنطيسى الكهربائى ، على أساس أنه بالنسبة للشحنات الكهربائية المتحركة ، يمكن الحصول على ظاهرة مناظرة لظاهرة الحث الإستاتيكى ، حيث أمكن فصل الشحنات الكهربائية الإستاتيكية بعضها عن بعض ، وذلك بتقريب جسم مشحون إلى آخر غير مشحون .

يبين الشكل (١٢٣) الاختبار الذى أجراه فاراداى . تلف لفيفتان منفصلتان كهربائيا ، جنبا إلى جنب على اسطوانة مجوفة من ورق الكرتون . تتكون إحدى هاتين اللفيفتين من بضع لفات من سلك سميك ، يوصل طرفاه بجهاز قياس مزود بمؤشر يسمح له بالانحراف على تدريج تجاه أى جانب من جوانبه . وتتكون اللفيفة الثانية من عدة لفات من سلك رفيع يكون جزءاً من دائرة كهربائية تشتمل على مصدر للجهد ، ومفتاح كهربائى بذراع .



شكل ١٢٣ :

١ – اسطوانة مجوفة .
٢ – ملف عليه عدد من اللفات .
٣ – جهاز قياس .
٤ – ملف عليه عدد كبير من اللفات .
٥ – مصدر للجهد .
٦ – مفتاح كهربائى بذراع (قاطع) .

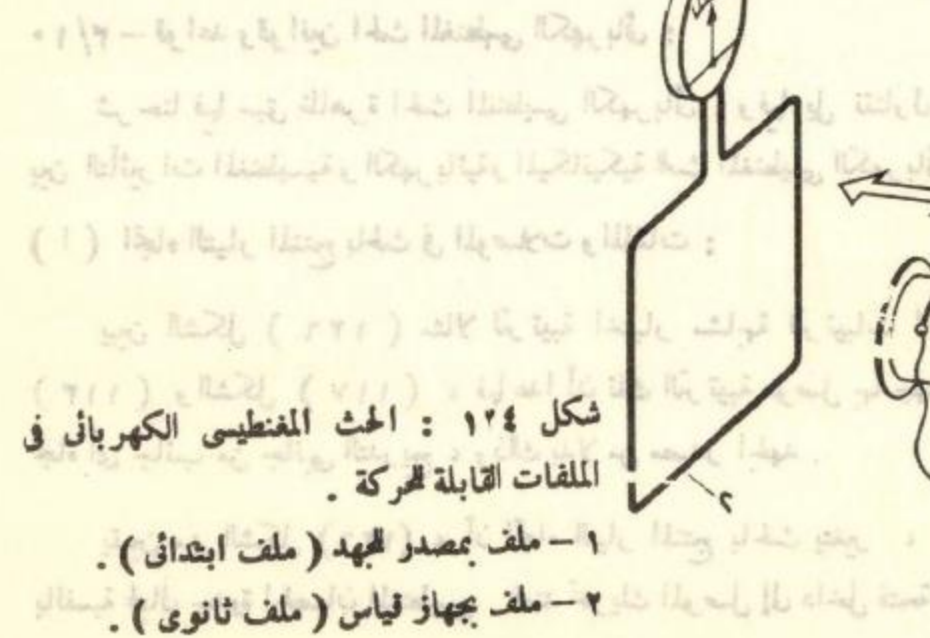
وبهذا الشكل ، تشتمل ترتيبة الاختبار هذه على دائرتين ، تحمل إحداهما تيارا يمر بصفة مستمرة فيها ، بينما لاتحمل الأخرى تيارا . فعند فصل الدائرة الكهربائية بتشغيل المفتاح الكهربائى، ينحرف مؤشر جهاز القياس ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وعند قفل الدائرة الكهربائية ينحرف مؤشر جهاز القياس فى اتجاه عكسى لاتجاه انحرافه فى الحالة الأولى ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وتعرف هذه الظاهرة كما يلى :

عند فصل أو قفل دائرة كهربائية ، يمر تيار كهربائى لوقت قصير ، خلال دائرة كهربائية مقفلة موضوعة بجوار الدائرة الكهربائية الأولى ، ويسمى هذا التيار « التيار المنتج بالحث » .

١٠|٢ – أشكال الحث المغنطيسى الكهربائى :

يبين الاختبار التالى ، المبين بالشكل (١٢٤) دراسة أكثر عمقا للحث المغنطيسى الكهربائى . فإذا عدلت ترتيبة الاختبار المبينة بالشكل (١٢٣) ، بحيث يوصل الملف مباشرة بمصدر الجهد (بإخراج المفتاح الكهربائى من الدائرة الكهربائية) ،مع ترتيب كلا الملفين بحيث يكونان قابلين للحركة ، يمكن ملاحظة الظاهرة التالية : عند تقريب ملف للآخر (يمكن تحريك أى من الملفين) ، ينحرف مؤشر جهاز القياس . وعند إبعاد الملفين عن بعضهما البعض ، ينحرف مؤشر جهاز القياس فى اتجاه عكسى لانحرافه فى الحالة الأولى ، وهذا يبين أنه ليس هناك حاجة إلى فصل أو قفل دائرة كهربائية لإنتاج تيار بالحث فى دائرة كهربائية أخرى .

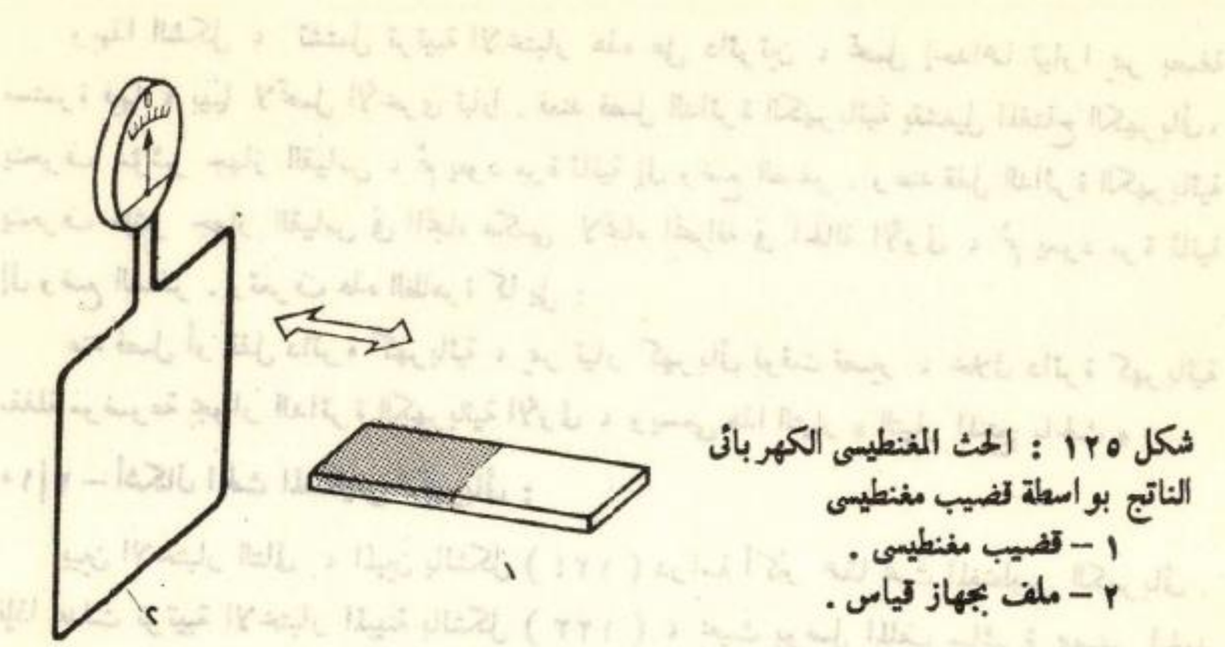
ولذلك تعرضت هذه الظاهرة لدراسات أكثر عمقا ، تستهدف بحث سبب حدوث نفس التأثير كما هو الحال فى الاختبار الأول ، وذلك بتحريك الملفين بالنسبة لبعضهما البعض . وقطع الدائرة الكهربائية ليس هو السبب الوحيد لإنتاج تيار بالحث ، وإنما يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تكوين مجال مغنطيسى حول الملف الحامل للتيار الكهربائى يؤدى إلى إنتاج تيار بالحث .



شكل ١٢٤ : الحث المغنطيسى الكهربائى فى الملفات القابلة للحركة .

١ – ملف بمصدر الجهد (ملف ابتدائى) .

٢ – ملف بجهاز قياس (ملف ثانوى) .



شكل ١٢٥ : الحث المغنطيسى الكهربائى الناتج بواسطة قضيب مغنطيسى
١ – قضيب مغنطيسى .
٢ – ملف بجهاز قياس .

وفى الاختبار الأول ، يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تلاشى المجال المغنطيسى ، بينما يصاحب قفل الدائرة الكهربائية تكوين للمجال المغنطيسى . وفى هذا التفسير الأخير ، يؤثر قفل وفصل الدائرة الكهربائية فى تغيير الفيض المغنطيسى من قيمة الصفر إلى قيمة الذروة ، ثم رجوعا إلى قيمة الصفر . يمكن تفسير الحث المغنطيسى الكهربائى الناتج فى الاختبار الثانى على هذه الأسس . فنتيجة لحركة الملفات تجاه بعضها البعض ، وبعيدا عن بعضها لبعض ، يتغير الفيض المغنطيسى بحيث تمر خطوط فيض أكثر عبر الملف الثانوى (الملف الموصل بجهاز القياس) فى الوهلة الأولى ؛ بينما تمر خطوط فيض أقل فى الوهلة الثانية .

وعلى أساس هذه الاعتبارات ، أجريت أبحاث لمعرفة ما إذا كان تغير الفيض المغنطيسى لمغنطيس على هيئة قضيب ، يمكن أن يحدث نفس التأثير فى الملف التأثيرى ، الشكل (١٢٥) . وفى الحقيقة ، تنتج الحركة النسبية بين قضيب المغنطيس والملف تيارا بالحث فى هذا الملف .

١٠/٣ – قواعد وقوانين الحث المغنطيسى الكهربائى :

شرحنا فيما سبق ظاهرة الحث المغنطيسى الكهربائى . وفيما يلى نتناول بعض العلاقات المتبادلة بين التأثيرات المغنطيسية والكهربائية والميكانيكية للحث المغنطيسى الكهربائى .

(ا) اتجاه التيار المنتج بالحث فى الموصلات والملفات :

يبين الشكل (١٢٦) مثالا لترتيبة اختبار مشابهة لترتيبات الاختبار المبينة فى الشكل (١١٣) والشكل (١١٧) ، فيما عدا أن تلك الترتيبة موصل بها جهاز قياس ينحرف مؤشره تجاه أى جانب من جانبى التدريج ، وذلك بدلا من مصدر الجهد .

يتبين من الشكل (١٢٦) ، أن اتجاه التيار المنتج بالحث يتغير ، معتمداً على وضع الموصل بالنسبة لمجال حدوة الحصان المغنطيسى . فعند تحريك الموصل إلى داخل فتحة حدوة الحصان المغنطيسى ،

شكل ١٢٦ : موصلات اختبار لاتجاه التيار المنتج بالحث .
١ – مغنطيس على شكل حدوة حصان .
٢ – موصل قابل للحركة .
٣ – جهاز قياس .

يكون انحراف مؤشر جهاز القياس فى اتجاه عكس اتجاهه عند سحب الموصل إلى خارج فتحة حدوة الحصان المغنطيسى . ويتضح من ذلك وجود علاقة بين اتجاه خطوط فيض المجال المغنطيسى ، واتجاه حركة الموصل (أو حركة المغنطيس) ، واتجاه التيار المنتج بالحث .

ويمكن التعبير عن هذه العلاقة كما يلى :

عند اختراق خطوط الفيض لراحة اليد اليمنى ، تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار المنتج بالحث ، بينما يبين إصبع الإبهام الممتد اتجاه الحركة ، الشكل (١٢٧) .

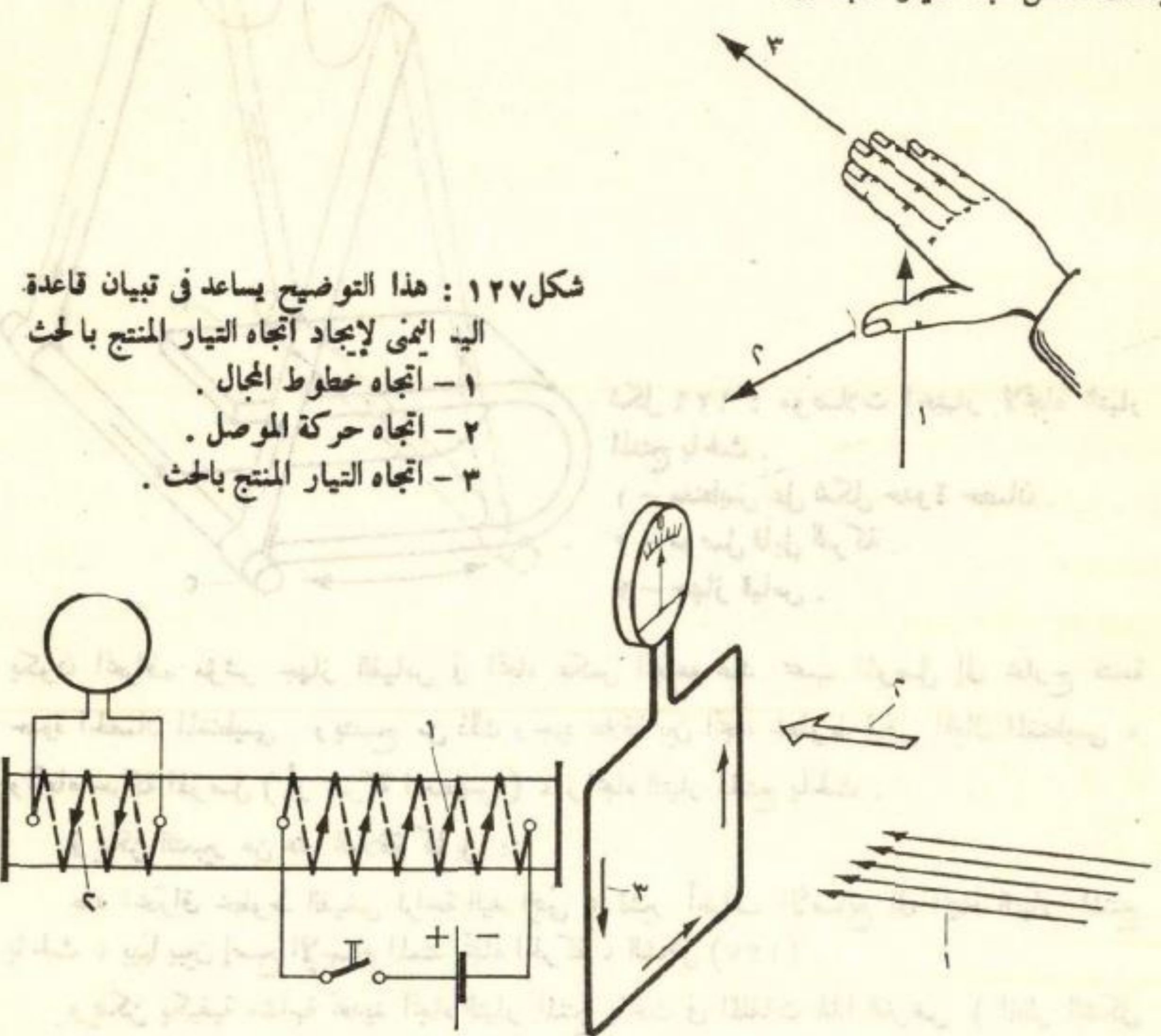
ويمكن بكيفية مشابهة تحديد اتجاه التيار المنتج بالحث فى الملفات لهذا الغرض (انظر الشكل ١٢٥) ، وبأخذ حالة حركة قضيب مغنطيسى كمثال مبسط ، نجد أنه بتحريك قضيب المغنطيس تجاه الملف ، يكون اتجاه التيار المنتج فى الملف ،عكس اتجاه التيار عند سحب قضيب المغنطيس بعيداً عن الملف .

من هذا يستنتج ما يسمى بقاعدة عقرب الساعة (الشكل ١٢٨) :

عند النظر إلى فتحة الملف فى اتجاه خطوط الفيض ، يكون سريان التيار المنتج بالحث فى اتجاه عكس عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أكثر على الملف ، بينما يكون سريانه فى اتجاه عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أقل على الملف .

ويمكن أيضاً إيجاد التيار المنتج بالحث فى دائرة كهربائية إبتدائية ، عند قفلها أو فصلها ، الشكل (١٢٣) .

وعند الأخذ فى الاعتبار قطبية ملف (سبق تعيينها بالطريقة المبينة بالشكل ١٠٠) ، فإنه يمكن إيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث بسهولة ، حيث أن قفل الدائرة الكهربائية يصاحبه زيادة فى التيار ، ثم ازدياد فى شدة الفيض المغنطيسى . وفى هذه الحالة يكون اتجاه التيار المنتج بالحث عكس اتجاه التيار الابتدائى .



شكل ١٢٧ : هذا التوضيح يساعد فى تبيان قاعدة اليد اليمنى لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث
١ – اتجاه خطوط المجال .
٢ – اتجاه حركة الموصل .
٣ – اتجاه التيار المنتج بالحث .

شكل ١٢٨ : هذا التوضيح يساعد فى تبيان قاعدة عقارب الساعة لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث
١ – اتجاه خطوط المجال .
٢ – اتجاه الحركة .
٣ – اتجاه التيار المنتج بالحث .

شكل ١٢٩ : اتجاه التيار المنتج بالحث عند قفل الدائرة الكهربائية الابتدائية .
١ – اتجاه التيار فى الملف الابتدائى
٢ – اتجاه التيار المنتج بالحث فى الملف الثانوى .

(ب) الحث المغنطيسى الكهربائى من الوجهة التنشيطية :

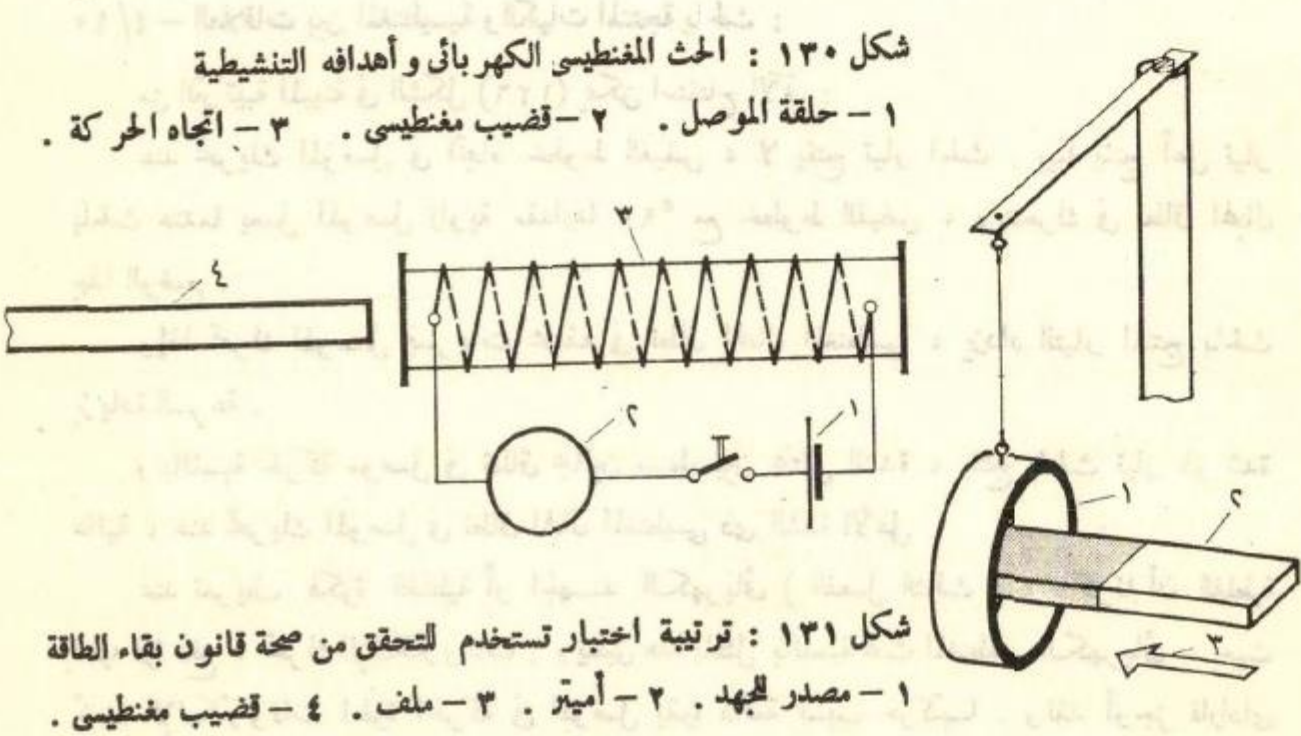
عند مناقشة تأثيرات التيار الكهربائى (انظر القسم الأول ، الفصل الأول) ، أعطينا بعض الملاحظات على نظرية بقاء الطاقة . وهنا نود أن نشير إلى العلاقة بين الحث المغنطيسى الكهربائى وبقاء الطاقة . ولتبيان هذه العلاقة تعطى الأمثلة التالية :

عند تعليق حلقة مقفلة من موصل (مصنوعة من سلك نحاس) ، بحيث تكون حرة الحركة ، ينتج فيها تيار بالحث إذا تحرك قضيب مغنطيسى بطريقة مناسبة للحلقة . وللظاهرة الآتية اهتمام خاص : عند تحريك قضيب المغنطيس إلى داخل حلقة الموصل ، تتحرك أيضاً الحلقة فى اتجاه حركة قضيب المغنطيس ، وعند سحب قضيب المغنطيس من داخل الحلقة ، تتبع الحلقة أيضاً حركة قضيب المغنطيس (الشكل ١٣٠) .

ويتضح من هذا أن مثل هذا المجال المغنطيسى ، المميز باتجاه التيار المنتج بالحث ، والذى يضاد التغير فى الفيض المغنطيسى ، المميز بحركة قضيب لمغنطيس ، ينتج فى نطاق حلقة الموصل .

ويمكن افتراض أن الحركة المتتابعة لحلقة الموصل تكتب حركة قضيب المغنطيس (عندما تتحرك الحلقة وقضيب المغنطيس فى نفس الاتجاه ، يكون معدل حركة المغنطيس بالنسبة لحلقة أقل منها عندما تكون الحلقة مثبتة) . وفى مثل هذه الترتيبة ، إذا ظهر رد الفعل المعكوس على التغير فى الفيض المغنطيسى ، أى إذا أدى المجال المغنطيسى للتيار المنتج بالحث إلى تغير فى الفيض المغنطيسى لقضيب المغنطيس ، فيمكن توليد أى كمية من الطاقة الكهربائية بواسطة كمية مبدئية صغيرة منها . وهذا لا يطابق قانون بقاء الطاقة . والشكل (١٣١) يبين ترتيبة اختبار أخرى تعطى البرهان على صحة قانون بقاء الطاقة ، وفى هذا الاختبار تقاس شدة التيار فى وجود الحث المغنطيسى .

شكل ١٣٠ : الحث المغنطيسى الكهربائى وأهدافه التنشيطية
١ – حلقة الموصل . ٢ – قضيب مغنطيسى . ٣ – اتجاه الحركة .



شكل ١٣١ : ترتيبة اختبار تستخدم للتحقق من صحة قانون بقاء الطاقة
١ – مصدر الجهد . ٢ – أميتر . ٣ – ملف . ٤ – قضيب مغنطيسى .

يوضع قضيب مغنطيس أمام ملف ، بحيث يسحب المغنطيس إلى داخل الملف وذلك بتأثير القطب المواجه للملف ، وبفرض أن المسافة بين الملف وبين القضيب تكون صغيرة بقدر كاف ، تخيل الآتى :

بعد وقت معين يفرغ مصدر الجهد ، ويعتمد هذا التريغ إلى حد كبير على قيمة مقاومة الملف الذى تتحول فيه الطاقة الكهربائية ت^{٢} × م × ز إلى حرارة . وعند تقريب المغنطيس للملف ، فإنه يصل إلى مسافة يجذب منها ، ويسحب إلى داخل الملف . ومن المؤكد تماماً فى هذه الحالة ، أن هناك شغلا قد بذل مع التجاذب . فأين بذل هذا الشغل ؟

فى الطبيعة وفى المفهوم المادى ، لا يبذل الشغل دون مكافئ . ومن هذا ينتج أنه فى اللحظة التى يسحب فيها المغنطيس إلى داخل الملف ، تخفض الكمية الإجمالية للطاقة المحولة إلى حرارة بما يساوى هذا الشغل ، ويجب ملاحظة أن مقاومة الملف م ، تبقى ثابتة بحيث يمكن تغيير شدة التيار فقط . وعليه ، فيفترض أنه عند لحظة التجاذب ، تخفض شدة التيار المار عبر الملف ، لكى تتحول كية أقل من الطاقة إلى حرارة . وفى الواقع ، ينتج المغنطيس جهداً بالحث فى الملف أثناء سحبه إلى داخله ، ويضاد التيار المنتج بالحث ، التيار الابتدائى فى الملف مسبباً كبته ، وبالتالى خفضه ، وذلك نتيجة لعكس اتجاه السريان . ويمكن التأكد من ذلك بقراءة الأميتر فى اللحظة التى يجذب فيها الملف المغنطيس .

ولقد درس عالم الطبيعيات الروسى لينز Lenz (١٨٠٤ – ١٨٦٥) العلاقات بين الحث المغنطيسى الكهربائى وبقاء الطاقة : ويمكن تعريف هذه العلاقة كما يلى :

يضاد اتجاه التيار المنتج بالحث دائماً الحركة أو الفيض الغنطيسى المتغير المتولد عنه .

١٠/٤ – العلاقات بين المغنطيسية والكميات المنتجة بالحث :

من الترتيبة المبينة فى الشكل (١٢٦) يمكن استنتاج الآتى :

عند تحريك الموصل فى اتجاه خطوط الفيض ، لا ينتج تيار الحث . بينما ينتج أعلى تيار بالحث عندما يعمل الموصل زاوية مقدارها ٩٠° مع خطوط الفيض ، ويتحرك فى نطاق المجال بهذا الوضع .

وإذا تحرك الموصل بسرعات مختلفة فى نطاق المجال المغنطيسى ، يزداد التيار المنتج بالحث بزيادة السرعة .

وبالنسبة لحركة موصل فى نطاق مجالين مغنطيسيين مختلفى الشدة ، ينتج بالحث تيار ذو شدة عالية ، عند تحريك الموصل فى نطاق المجال المغنطيسى ذى الشدة الأعلى .

عند تعريف فكرة الفلطية أو الجهد الكهربائى (الفصل الثالث) ، ذكرنا أن الفلطية تشبه قوة دفع ، تحرك الإلكترونات . ويطبق هذا بالمثل بالنسبة لحث المغنطيسى الكهربائى ، حيث تزود الإلكترونات الحرة الحركة فى الموصل بقوة دافعة تسبب حركتها . ولقد أوجز فارادای هذه الظاهرة فى قانون الحث كما يلى :

تنتج بالحث قدرة دافعة كهربائية ابتدائية فى موصل ، بتغير الفيض المغنطيسى المحيط به . وهنا يعطى تعريف أكثر دقة للفيض المغنطيسى المذكور فى القسم الأول ، الفصل الرابع وهو :

تكون قيمة شدة الفيض المغنطيسى مساوية وبر واحد ، إذا أنتج بالحث جهدا قيمته فلط واحد فى لفيفة حوله ، ويتناقص هذا الجهد بانتظام إلى قيمة الصفر ، وذلك خلال زمن قدره ثانية واحدة ،

وعندما نرمز للقوة الدافعة الكهربائية الابتدائية المنتجة بالحث بالرمز $ج_1$ ، يمكن وضع العلاقة التالية :

فى فترة صغيرة من الزمن Δ ز (دلتا ز) ، ينتج التغير $\Delta \Phi$ فى الفيض المغنطيسى المحيط بلفيفة ، قوة دافعة كهربائية $ج_1$ فيها ، وعليه :

$$ج_1 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta ز}$$

ولعدة لفيفات محاطة بفيض مغنطيسى Φ ، تطبق العلاقة التالية :

$$ج_1 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta ز} \times ن$$

حيث ن هى عدد اللفيفات .

ومن هذا يمكن استنتاج علاقة أخرى تربط بين الحث المغنطيسى $ف_م$ ، وطول الموصل الفعال (ل) والسرعة (ع) ، وهى :

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta ز} = ف_م \times ل \times ع$$

يعنى هذا أن القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث تساوى حاصل ضرب الحث المغنطيسى وطول الموصل والسرعة التى يتحرك بها الموصل فى المجال المغنطيسى . وعلى هذا ، فمن العلاقتين السابقتين نحصل على العلاقة التالية :

$$ج_1 = ف_م \times ل \times ع$$

مثال :

إذا كان الطول الفعال لموصل هوائى لطائرة نفاثة هو ٣٠ متر . وكانت الطائرة تتحرك عمودياً على خطوط الفيض للمجال المغنطيسى للأرض الذى حثه المغنطيسى $ف_م = ٤,١ \times ١٠^{-٥} \frac{فل\ ث}{م^٢}$ ، وبسرعة ١,٠٨٠ كيلومتر/ساعة ، فما القوة الدافعة الكهربائية $ج_1$ المنتجة بالحث فى هذا الهوائى ؟ (الشكل ١٣٢)

المعطيات : $ف_م = ٤,١ \times ١٠^{-٥} \frac{فل\ ث}{م^٢}$

$ل = ٣٠$ متر

$ع = ١٠٨٠$ كيلومتر/ساعة
$ع = ٣٠٠$ متر فى الثانية

المطلوب : $ج_١$

الحــل :

$$ج_١ = ف \times ل \times ع$$

$$= ١,٤ \times ١٠^{-٥} \times ٣٠ \times ٣٠٠$$

$$= ٠,٣٦ \text{ فلط} = ٣٦٠ \text{ ملى فلط}$$

القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث فى الهوائى هى ٣٦٠ ملى فلط .

وإذا كان الموصل مكونا من عدة لفات ، تستخدم العلاقة التالية :

$$ج_١ = ف_م \times ل \times ع \times ن$$

مثال :

لمولد تيار مستمر قطبان مغنطيسيان بطول ٢٥ سم وبعرض ٣٠ سم ، والحث المغنطيسى للمجال المغنطيسى لهذين القطبين هو $١,٢ \frac{\text{فل ث}}{م^٢}$. يعمل فى هذا المجال عضو إنتاج له ١٠٠ لفة بسرعة ٩٦٠ دورة فى الدقيقة . ما القوة الدافعة الكهربائية $ج_١$ المنتجة فى هذا المولد ؟

المعطيات : $ف_م = ١,٢ \frac{\text{فل ث}}{م^٢}$

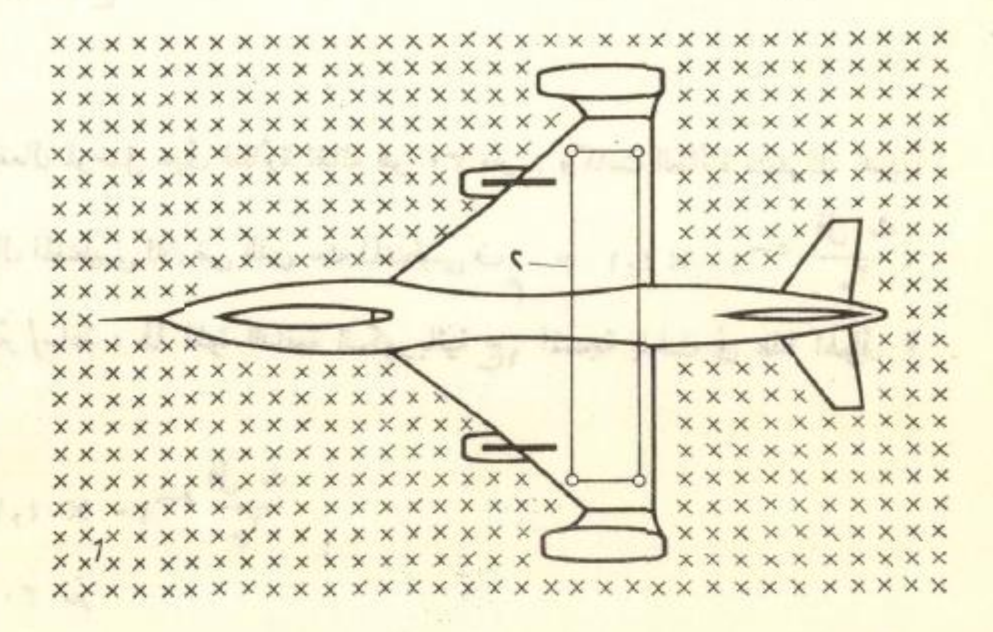
$ل = ٢٥$ سم

$ض = ٣٠$ سم

$ع = ٩٦٠$ دورة فى الدقيقة

$ن = ١٠٠$ لفة

المطلوب : $ج_١$



شكل ١٣٢
حث لفلطية (ج) فى هوائى
١ — المجال المغنطيسى للأرض .
٢ — الطول الفعال للموصل .

الحل :

عند سرعة ٩٦٠ دورة فى الدقيقة ، يمر الطول الفعال لموصل وهو ٢٥ سم بين قطبين عرض كل منهما ٣٠ سم وذلك بمعدل ١٦ مـــرة كل ثانية ، ومن هـــذا ينتج أن السرعة

$$ع = ٢ \times ١٦ \times ٠{,}٣٠ \frac{\text{متر}}{\text{ثانية}}$$ وعلى ذلك :

$$ج_١ = ف_م \times ل \times ع \times ن .$$

$$= ١{,}٢ \times ٠{,}٢٥ \times ٢ \times ١٦ \times ٠{,}٣٠ \times ١٠٠$$

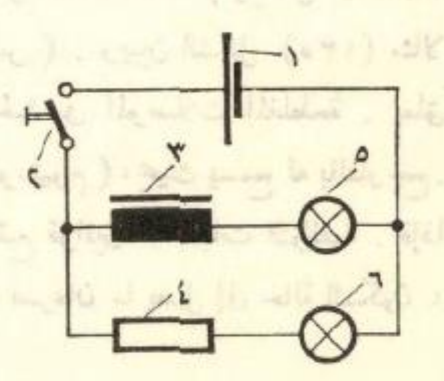
$$= ٢٨٨ \text{ فلط}$$

ينتج بالحث فى هذا المولد قوة دافعة كهربائية قيمتهـا ٢٨٨ فلط .

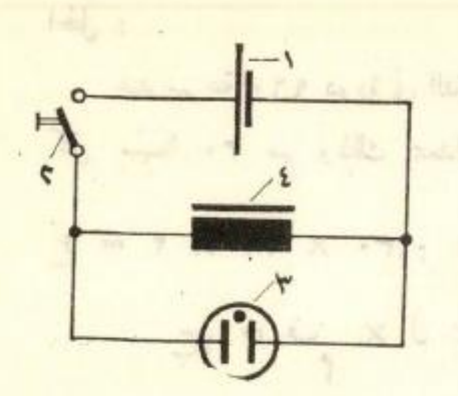
٥/١٠ — الحث الذاتى :

تبين ترتيبة الاختبار المبينـــة فى الشكل (١٣٣) كيفية تصرف ملف بقلب حديد فى دائرة كهربائية ، وذلك عندما يوصل التيار إليهـا ويفصم عنهـا . وتكون قيم مقاومة الملف والمقاومة الأومية الموصلة فى الدائرة الكهربائية متساوية . فعندما تشغل هذه الترتيبة ، يومض المصباح المتوهج الموصل على التوالى مع الملف متأخراً بعض الوقت عن المصباح المتوهج الموصل على التوالى مع المقاوم . وطبقاً لقانون لينز ، ينتج تيار بالحث ، يكون اتجاهه عكس اتجاه التيار الموجود عندما تقفل الدائرة الكهربائية (وهذا يعنى أيضاً ازدياد شدة المجال المغنطيسى للملف) . وعندما يصل الجهد وشدة التيار إلى قيمة معينة ؛ أى إذا لم يتغير الفيض المغنطيسى مرة ثانية ، يخبو هذا الحث . ويسمى الحث المغنطيسى الكهربائى المسبب عن قوة دافعة كهربائية إضافية فى الملف ، والتأثير الواقع على هذا الملف « الحث الذاتى » .

ويمكن ملاحظة الحث الذاتى المسبب عن قوة دافعة كهربائية عندما تفصم دائرة كهربائية ، وذلك بمساعدة ترتيبة كما هو مبين بالشكل (١٣٤) .



شكل ١٣٣
تصرفات ملفات بقلوب حديد فى دائرة كهربائية
١ — مصدر الجهد .
٢ — مفتاح كهربائى .
٣ — ملف بقلب حديد .
٤ — مقاومة أومية .
٥ — مصباح ١
٦ — مصباح ٢



شكل ١٣٤ : تصرف ملفات بقلوب حديد عندما تقطع الدائرة الكهربائية .
١ – مصدر للجهد (حوالى ٢ فلط) .
٢ – مفتاح كهربائى .
٣ – مصباح كهربائى مقنن جهده ج = ١١٠ فلط .
٤ – ملف بقلب حديد (حوالى ١٥٠٠ لفة)

فعندما تشغل هذه الترتيبة ، لا يمكن ملاحظة أى شىء من الخارج ، وإنما يمكن فقط إثبات سريان تيار كهربائى فى هذه الدائرة الكهربائية . ولهذا الغرض يمكن استخدام أميتر أو إبرة مغنطيسية . فعند فصل هذه الدائرة الكهربائية ، يومض الصباح المتوهج لحظة ، وهذا يعنى أن الجهد قد وصل إلى قيمة قدرها ٥٠ مرة أعلى من قيمة الجهد المقنن . ويمكن شرح هذه الظاهرة كما يلى :

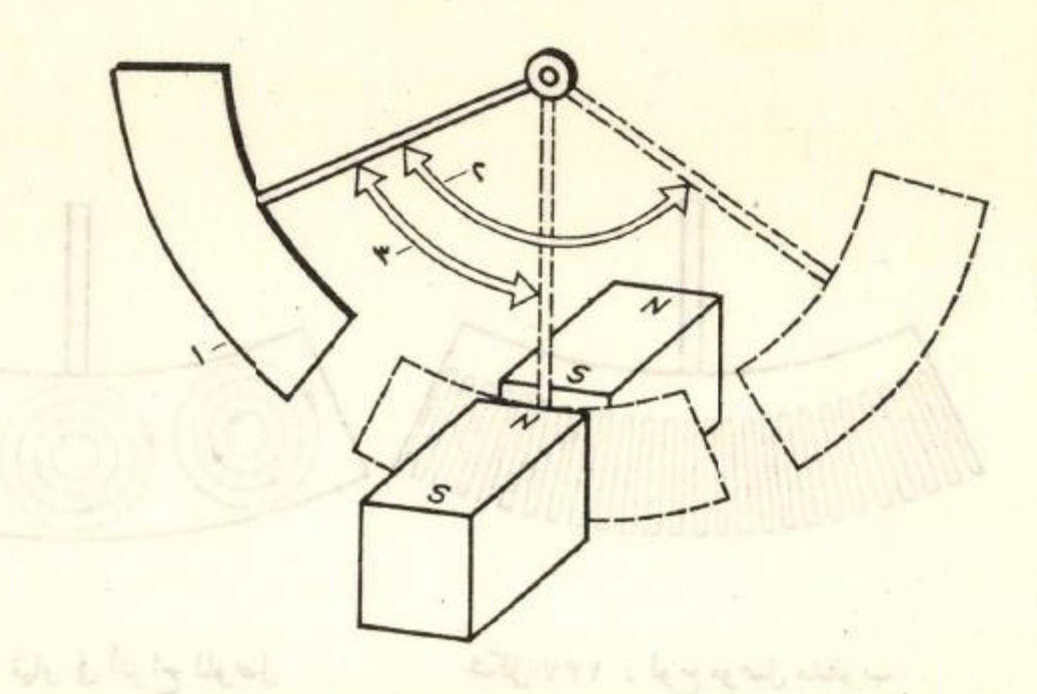
عند فصل الدائرة الكهربائية ، يبطل مفعول المجال المغنطيسى للملف ، وعند الأخذ فى الاعتبار التيار المنتج بالحث الذاتى ، نجد أن القوة الدافعة الكهربائية المسببة له ، تمارس تغيراً فى الاتجاه الذى أصبح عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية لسابقة الناتجة بالحث ، وعليه يكون له الاتجاه نفسه كاتجاه التيار الموجود .

وعادة ، تسمى الملفات بقلوب حديد ، أى الملفات التى لها محاثة ، « ملفات المحاثة » . ولتصرف هذه الملفات أهمية فى دوائر التيار المتردد ذات التردد العالى والمنخفض ، وسيناقش ذلك فيما بعد .

١٠ /٦ – الحث المغنطيسى الكهربائى فى الموصلات المفلطحة :

فيما سبق تناولنا بالبحث الحث المغنطيسى الكهربائى فى الملفات والأسلاك المستقيمة . ولتصرف الموصلات المفلطحة بالنسبة للحث المغنطيسى الكهربائى أهميـة لا تقل عن أهمية تصرف الموصلات والأسلاك المستقيمة بالنسبة للهندسة الكهربائية . ومن الشكل (١٣٠) ، نستخلص أن التيارات ذات الشدة العالية نسبياً تنتج بالحث فى حلقات موصلات مقفلة (ويمكن الاستدلال على ذلك من حركة حلقة السلك التى تتبع حركة قضيب المغنطيس) . ويبين الشكل (١٣٥) مثالا لاختبار يعطى معلومات تتعلق بتصرف التيارات المنتجة بالحث فى الموصلات المفلطحة . يعلق قطاع من الألومنيوم (يمكن أيضاً استخدام معدن آخر غير الألومنيوم) ، بحيث يسمح له بالتأرجح . وحركة البندول هذه التى يحدثها قطاع الألومنيوم المعلق ، تتبع قوانين التذبذبات التوافقية . فإذا تأرجح هذا البندول (قطاع الألومنيوم) خلال مجال مغنطيسى ، فسرعان ما يصل إلى حالة السكون ، ويتوقف ذلك على شدة هذا المجال .

وسبب توقف التذبذبات سريعاً عندما يدخل البندول المجال المغنطيسى ، هو ظهور تيارات منتجة بالحث ، تكون مجالاتهـا المغنطيسية موجهة بطريقة تعوق هذه الحركة ، وعلى ذلك فهى تتبع قانون لينز .



شكل ١٣٥ : الحث المغنطيسى الكهربائى فى ألواح الموصل .

١ — بندول من الألومنيوم . ٢ — تذبذبات فى الهواء الطلق

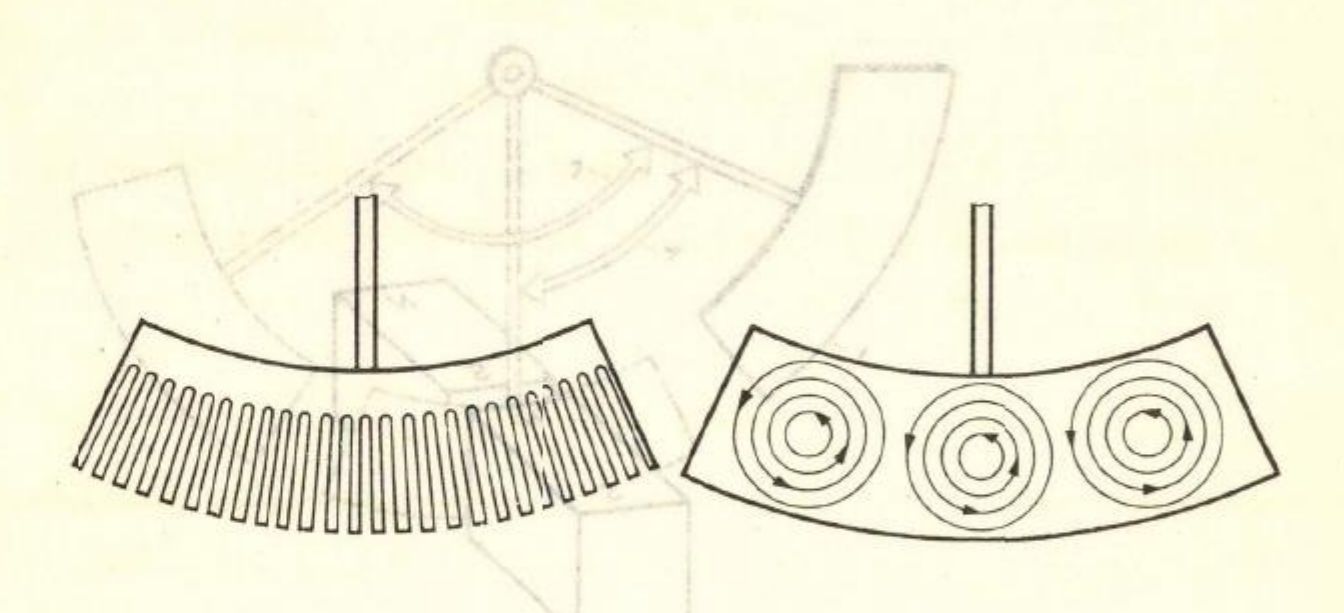
٣ — تذبذبات خلال مجال مغنطيسى .

يبين الشكل (١٣٦) مثالا لتوزيع مسارات التيار فى الموصل المفلطح ، ومن الواضح أن هذه المسارات تكون مقفلة . وتسمى التيارات المنتجة بالحث فى الموصلات المفلطحة « التيارات الدوامية».

وحيث أن للتيارات مسارات مقفلة فإن هــذه التيارات تولد كمية لا بأس بهـا من الحرارة فى الموصل . وفى حالات كثيرة ، تكون هذه الحرارة غير مرغوب فيهـا فى المكنات والأجهزة الكهربائية . والشكل (١٣٧) يبين كيفية تجنب هذه التيارات الدوامية فى الموصلات المفلطحة ، وذلك بتزويد الموصلات بمثقبيات ضيقة .

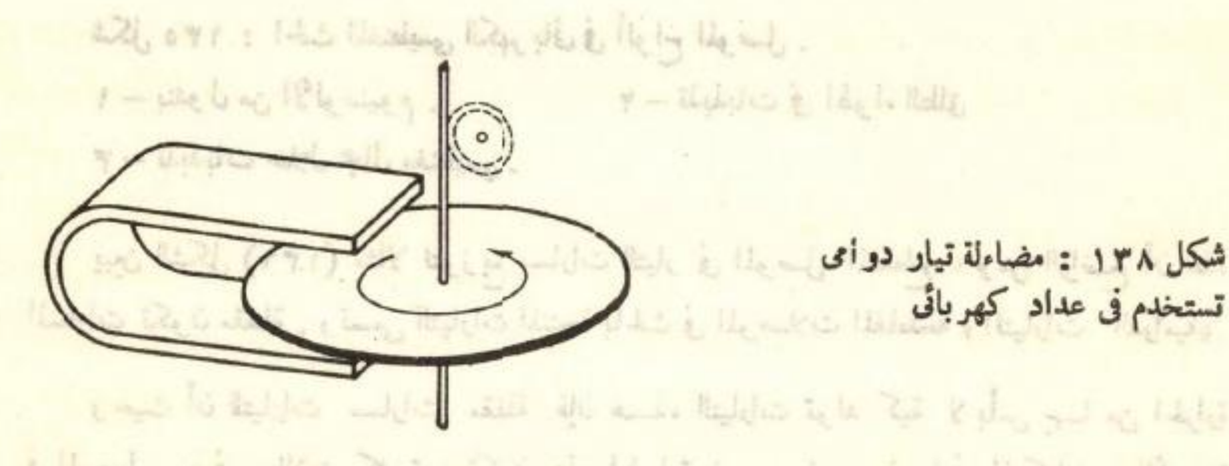
وعندما يسمح لمثل هذا الموصل المثقوب بالتأرجح خلال مجال مغنطيسى ، يتوقف الموصل بعد فترة . ويكون تأثير الفرملة ، وبالتالى تكون التيارات الدوامية ، قد منعت بدرجة كبيرة .

على أنه يمكن أيضاً كبح التيارات الدوامية بطريقة أخرى ، بدلا من استخدام موصل مفلطح ذى سمك معين فيمكن وضع عــدة موصلات رفيعة معزولة فوق بعضهـا البعض لتكون موصلا بالسمك المعين المطلوب .



شكل ١٣٦ : ممر تيار فى ألواح الموصل

شكل ١٣٧ : لوح موصل مشقوب



شكل ١٣٨ : مضاءلة تيار دوامى تستخدم فى عداد كهربائى

تلعب هاتان الإمكانيتان لمضاءلة التيارات الدوامية دوراً هاماً فى الهندسة الكهربائية . فى المكنات الثابتة والدوارة ، تعمل أكوام من رقائق الدينامو خصيصاً للقلوب . « ورقيقة الدينامو » التى تعرف أيضاً « كرقيقة قلب » ، هى عبارة عن معدن مغنطيسى طرى ، يعزل من جانب واحد ، بطرق كيميائية كهربائية (وأحياناً بتبطينها بالورق) .

وفى الهندسة الكهربائية ، تستخدم التيارات الدوامية للمضاءلة ، خصوصاً فى تقنيات الاختبار والقياس ، وتختبر عادة مقدرة المحركات الكهربائية على بدء الحركة بواسطة فرامل التيار الدوامى ، ويبين الشكل (١٣٨) ترتيبة لمضاءلة تيار دوامى تستخدم فى عداد كهربائى .

الفصل الحادى عشر

تاثيرات المجالات الكهربائية

١١/١ – المجالات المتدفقة المتجانسة وغير المتجانسة :

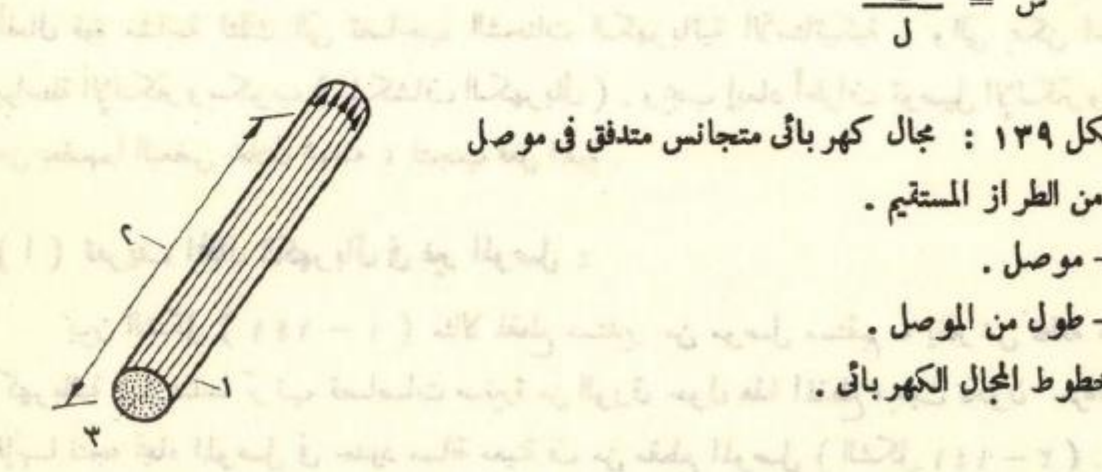
فيما يتعلق بأبحاث الشحنات الكهربائية الاستاتيكية ، ذكرنا أنها تلتصق بالأسطح ، وهى قادرة على الشحن بالحث . وللاستطراد فى شرحنا ، نفترض وجود ظاهرة تصاحب الشحنات الكهربائية المتحركة والتيار الكهربائى تشبه الظاهرة التى تصاحب المجالات المغنطيسية . وهناك تمييز بين المجالات الكهربائية فى الموصلات وفى غير الموصلات .

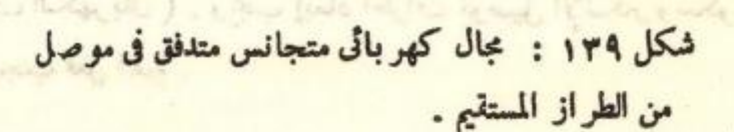
المجال المتدفق المتجانس فى موصل :

يقال عن التيار الكهربائى ، أنه حركة إلكترونات فى اتجاه مفضل . ويمكن أن يكون الحيز الذى تحدث فيه هذه الحركة ، قطعة من السلك ، كما هو مبين بالشكل (١٣٩) . وعادة يسمى الحيز الذى تحدث فى نطاقه ظاهرة كهربائية « المجال الكهربائى » . وعندما تحدث ظاهرة كهربائية فى موصل حامل للتيار ، فإننا نتكلم ، فى هذه الحالة ، عن مجال كهربائى متدفق . وتبين الممرات التى تتخذها الإلكترونات ، الخطوط الكهربائية للقوة ، والتى عبر عنها فى الشكل ، بخطوط متقطعة ، لتميزها عن الخطوط المغنطيسية للفيض .

فإذا كان الموصل من النوع المستقيم ، ومساحة مقطعه المستعرض منتظمة ، تكون الخطوط الكهربائية للقوة متوازية بعضها مع بعض . ويمكن تعيين قيمة جهد ج ، مسلط على هذا الموصل ، لأى مقطع طولى ل منه . وتسمى النسبة بين الجهد المسلط وبين طول الموصل « الشدة الكهربائية » ش ، وعليه فإن :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$



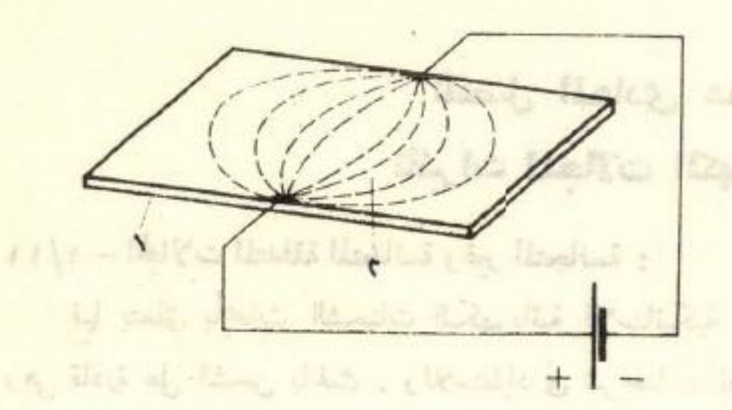


شكل ١٣٩ : مجال كهربائى متجانس متدفق فى موصل من الطراز المستقيم .

١ – موصل .

٢ – طول من الموصل .

٣ خطوط المجال الكهربائى .



شكل ١٤٠
شكل المجال فى موصل من الطراز اللوح
١ – موصل من الطراز اللوح .
٢ – مجال غير متجانس متدفق .

المجال المتدفق غير المتجانس فى موصل :

عندما يسرى تيار كهربائى خلال موصل من نوع اللوح ، فإن مسارات الممرات التى تتخذها الإلكترونات ، وبالتالى مسار خطوط القوة ، تكون غير مستقيمة تماماً ، وإنما تشبه تقريباً التشكيل المبين فى الشكل (١٤٠) .

يوصل اللوح الموصل ، وهو لوح معدنى فى هذه الحالة ، بدائرة كهربائية . وبالنسبة للمسار الذى تتخذه خطوط القوة ، يمكن النص على ما يلى :
تمتد الخطوط الكهربائية للقوة من القطب الموجب إلى القطب السالب .

وتميل خطوط القوة للسير كل على حدة فى المجال غير المتجانس ، وهذه الحقيقة يمكن وصفها كما يلى :

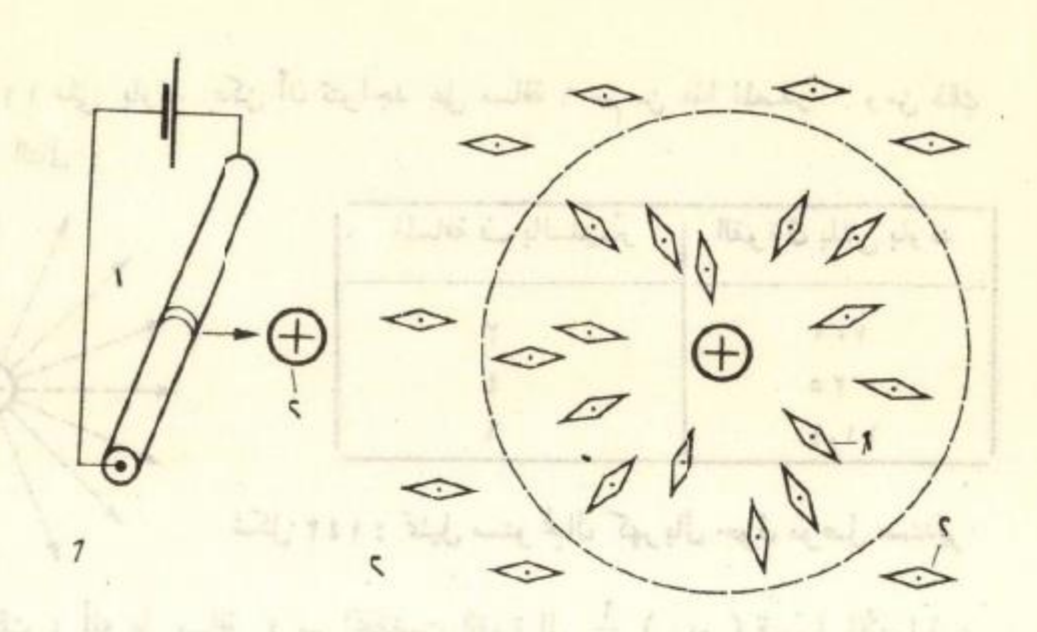
تبذل قوة شد فى اتجاه خطوط القوة ، بينما تبذل قوة ضغط عمودية على خطوط القوة .

١١/٢ – المجالات الكهربائية فى غير الموصلات :

يمكن تتبع المجالات الكهربائية المتدفقة فى الموصلات ، بسهولة ، وذلك بواسطة جهاز بيان كهربائى . وعلى كل ، فإنه من المفيد إيجاد ما إذا كان ما يحيط بالموصل الحامل للتيار يمارس أفعال قوة مشابهة لتلك التى تصاحب الشحنات الكهربائية الأستاتيكية ، والتى يمكن استبيانها بواسطة الإلكتروسكوب (المكشاف الكهربائى) . ويجب إبعاد أطراف توصيل الإلكتروسكوب عن بعضهما البعض خلال شحنه ، لتجنب فعل القوة .

(ا) تعريف المجال الكهربائى فى غير الموصل :

يبين الشكل (١٤١ – ١) مثالا لمقطع مستدير من موصل مستقيم ، يفترض قطعه من دائرة كهربائية . وعندما ترتب قصاصات صغيرة من الورق حول هذا المقطع ، بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها تتجه تجاه الموصل فى حدود مسافة معينة ف من مقطع الموصل (الشكل ١٤١ – ٢) .



شكل ١٤١ : تمثيل مجال كهربائى فى غير موصل

(٢) (١)

١ – قصاصات من الورق ينضبط اتجاهها بواسطة خطوط القوة. ١ – دائرة .

٢ – قصاصات من الورق خارج نطاق تأثير المجال الكهربائى . ٢ – مقطع مستدير من الموصل.

وتتجه قطع الورق الصغيرة التى لم تتجه فى بادئ الأمر فى هذا الاتجاه المفضل ، تجاه الموصل عندما يسمح بسريان تيار كهربائى فيه . وتكون قصاصات الورق التى لا تتجه فى هذا الاتجاه ، خارجة عن نطاق تأثير القوة التى يبذلها المجال الكهربائى حول الموصل الحامل للتيار .

وبرسم خط يصل بين أطراف قصاصات الورق ومركز مقطع الموصل ، يمكن الحصول على تمثيل مستو لمجال كهربائى (الشكل ١٤٢) .

ويكون الحيز المحيط بجسم مشحون كهربائياً ، هو المجال الكهربائى .

ويقال لمجال كهربائى أنه موجود فى نقطة ما ، إذا بذلت قوة من أصل كهربائى على أى جسم مشحون موضوع فى هذه النقطة .

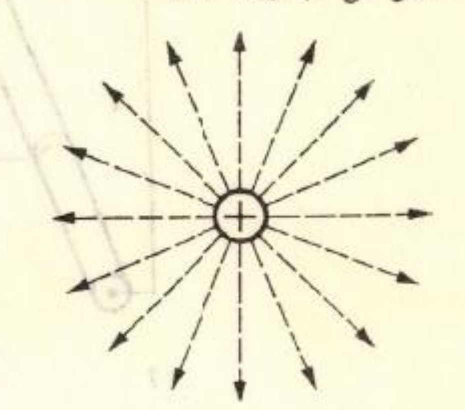
قانون كولوم :

إذا أجرى اختبار معملى بسيط ، للتأكد من وجود قوة يبذلها جسم على جسم آخر ، فيبين هذا الاختبار أن لهذه القوة قيمة أعلى ، عند أى نقطة قريبة من مصدر المجال الكهربائى ، من قيمتها عند أى نقطة على مسافة بعيدة من هذا المصدر . وقد بحث كولوم (١٧٣٦ – ١٨٠٦) هذه العلاقات المتبادلة ، وأوضح ما يعرف فى أيامنا هذه « بقانون كولوم » .

فإذا قيل مثلا ، أن قوة مقدارها ١٠٠ ملى باوند موجودة فى نقطة على مسافة ٢ سم من مصدر المجال الكهربائى ، فإن قوة مقدارها ٢٥ ملى باوند يمكن أن توجد على مسافة ٤ سم ،

وقوة مقدارها ١١,١ ملى باوند يمكن أن تتواجد على مسافة ٦ سم من هذا المصدر . ومن ذلك نحصل على الجدول التالى :

المسافة ف بالسنتيمتر	القوة ق بالملى باوند
٢	١٠٠
٤	٢٥
٦	١١,١



شكل ١٤٢ : تمثيل مستو لمجال كهربائى حول موصل مستدير

ويتبين من ذلك ، أنه على مسافة ٤ سم انخفضت القوة إلى $\frac{1}{4}$ (ربع) قيمتها الأصلية ، وعلى مسافة ٦ سم انخفضت القوة إلى $\frac{1}{9}$ (تسع) قيمتها الأصلية ويمكن من هذه القيم العملية ، استنتاج الصيغة التالية :

للحصول على قوة المجال الكهربائى ، تضرب القوة فى مربع المسافة .

أى أن : $ق_{مجال} = ق \times ف^2$

بتطبيق ذلك على المثال السابق ، نحصل على ما يلى :

$١٠٠ \times ٢^2 = ١٠٠ \times ٢ \times ٢ = ١٠٠ \times ٤ = ٤٠٠$

$٢٥ \times ٤^2 = ٢٥ \times ٤ \times ٤ = ٢٥ \times ١٦ = ٤٠٠$

$١١,١ \times ٦^2 = ١١,١ \times ٦ \times ٦ = ١١,١ \times ٣٦ = ٣٩٩,٦ \simeq ٤٠٠$

ويمكن التعبير عن ذلك بالصيغة التالية :

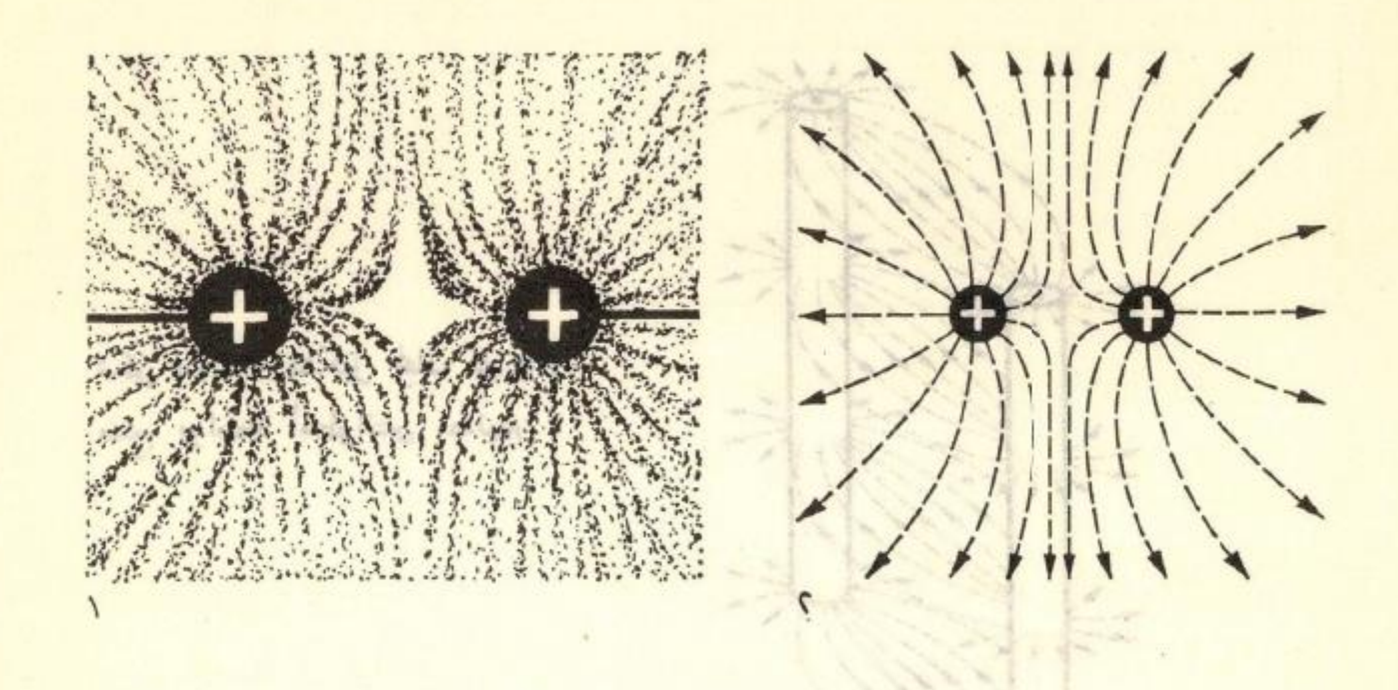
تتناقص القوة الفعالة لمجال كهربائى بمقدار مربع المسافة .

(ب) تشكيلات المجالات الكهربائية :

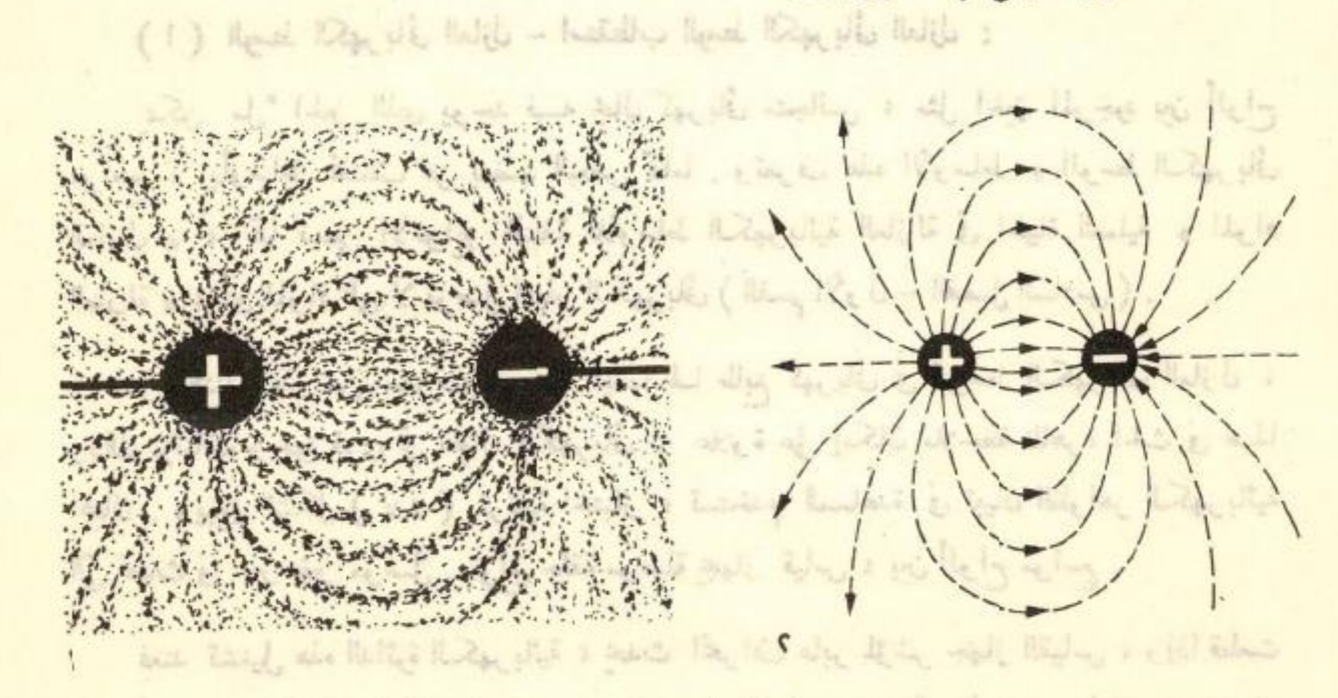
للحصول على تشكيل لمجال كهربائى ، توضع موصلات ذات أشكال مختلفة فى طبقة رقيقة من الزيت المغطى بحبيبات « الصميذ » semolina . فعند سريان التيار الكهربائى فى هذا الموصل ، تترتب هذه الحبيبات فى اتجاه خطوط القوة ، وتعطى بذلك تشكيلا للمجال . وتبين الأشكال الآتية بضع تشكيلات للمجالات الكهربائية .

وعند دراسة هذه التشكيلات ، يمكن التمييز بسهولة بين تشكيلين أساسين للمجالات الكهربائية : مجالات كهربائية متجانسة ومجالات كهربائية غير متجانسة .

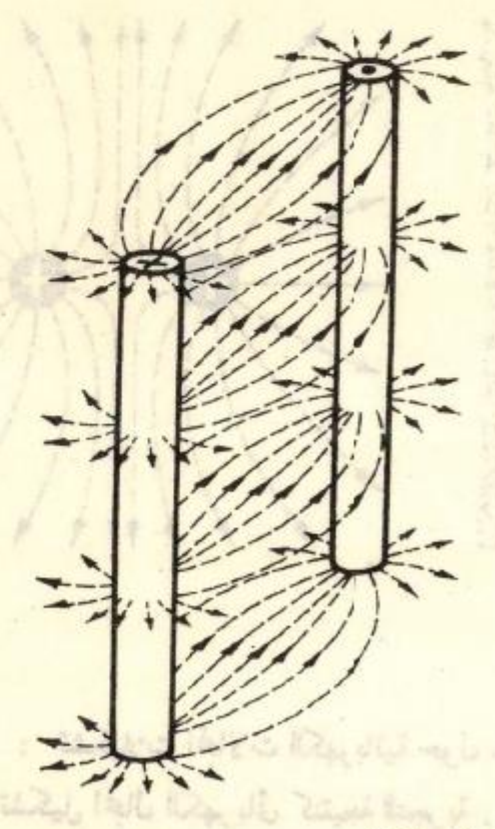
ويمكن الحصول على مجال متجانس بوضع لوحين معدنيين عريضين إلى حد ما ، على مسافة صغيرة من بعضهما البعض . وتسمى هذه الترتيبة « المكثف الكهربائى » أو « المواسع » . وتلعب المواسعات دورا هاما فى الهندسة الكهربائية . وسيرد وصفها فيما بعد .



شكل ١٤٣ : تشكيلات المجالات الكهربائية حول مقطعين لموصلين لهما نفس القطبية
١ – تشكيل المجال الكهربائى كنتيجة للتجربة .
٢ – تمثيل تخطيطى لمجال كهربائى .



شكل ١٤٤ تشكيلات لمجالات كهربائية حول مقطعى موصل مختلفى القطبية
١ – تشكيل المجال الكهربائى كنتيجة للتجربة .
٢ – تمثيل تخطيطى لمجال كهربائى .



شكل ١٤٥ : تشكيل لمجال كهربائى
منتج بواسطة أسطوانتين معدنيتين

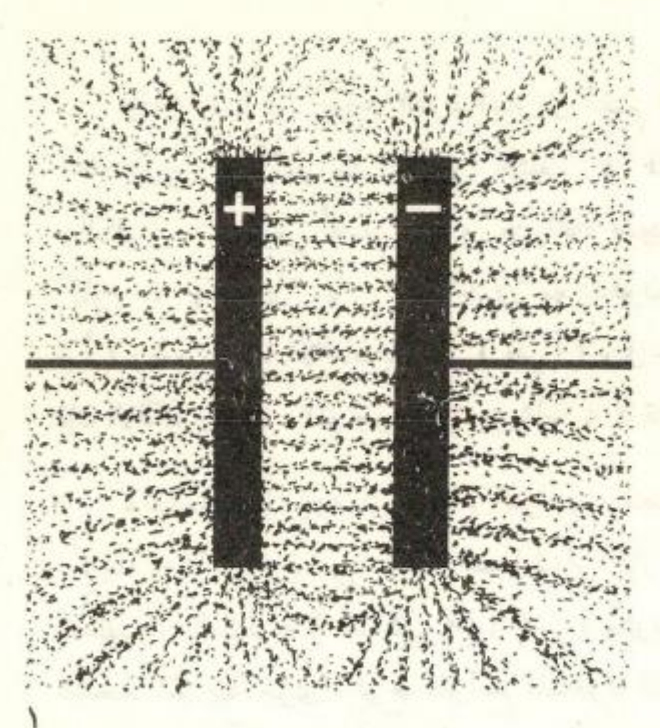
٣/١١ — كميات لتعيين المجالات الكهربائية المتجانسة :

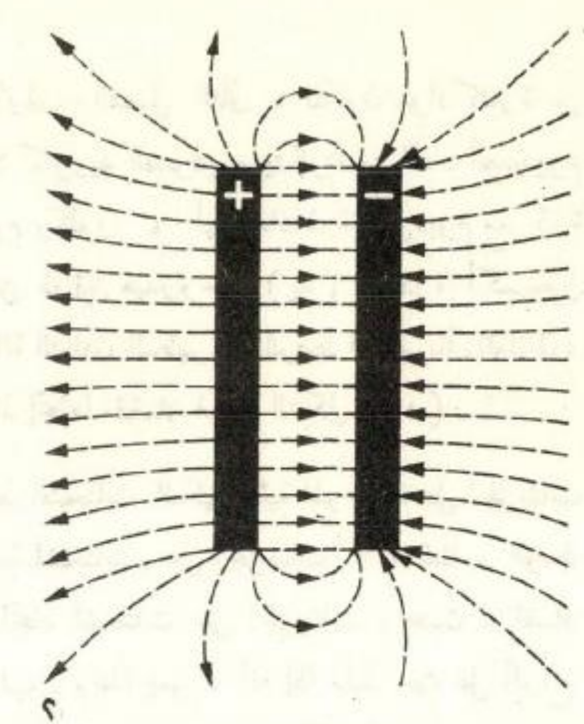
(ا) الوسط الكهربائى العازل — استقطاب الوسط الكهربائى العازل :

يمكن ملء الحيز الذى يوجد فيــه مجال كهربائى متجانس ، مثل الحيز الموجود بين ألواح مواسع ، بأوساط تختلف عن بعضها البعض تماما . وتعرف هذه الأوساط « الوسط الكهربائى العازل » ، كما تسمى الأنواع المختلفة للأوساط الكهربائية العازلة فى الحياة العملية « المواد العازلة » ، أى المواد التى لا توصل التيار الكهربائى (القسم الأول — الفصل السادس) .

ويمكننا افتراض حدوث تغيرات أيضا لها طابع كهربائى فى الوسط الكهربائى العازل ، وذلك بإثبات وجود قوى فى المجال الكهربائى ، علاوة على إمكان ملاحظة ظاهرة الحث فى هذا المجال . ويبين الشكل (٤٧) ترتيبة اختبار ، تستخدم للمساعدة فى تبيان الظواهر الكهربائية التى تحدث فى حيز غير موصل . تولج حلقة موصلة بجهاز قياس ، بين ألواح مواسع .

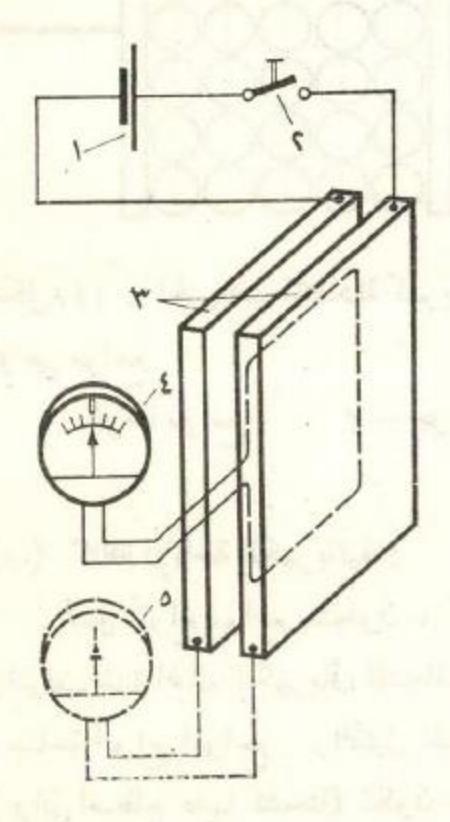
فعند تشغيل هذه الدائرة الكهربائية ، يحدث انحراف عابر لمؤشر جهاز القياس ، وإذا قطعت التغذية عن هذه الدائرة الكهربائية ، ووصل جهاز القياس بعد ذلك بلوحى مواسع ، ينحرف المؤشر أيضا لفترة وجيزة . ويتضح من ذلك سريان تيار كهربائى خلال غير الموصل تحت هذه الظروف المعطاة .





شكل١٤٦ : تشكيل المجال الكهربائى بين لوحين معدنيين
١ – تشكيل المجال الكهربائى كنتيجة للتجربة .
٢ – تمثيل تخطيطى لمجال كهربائى .

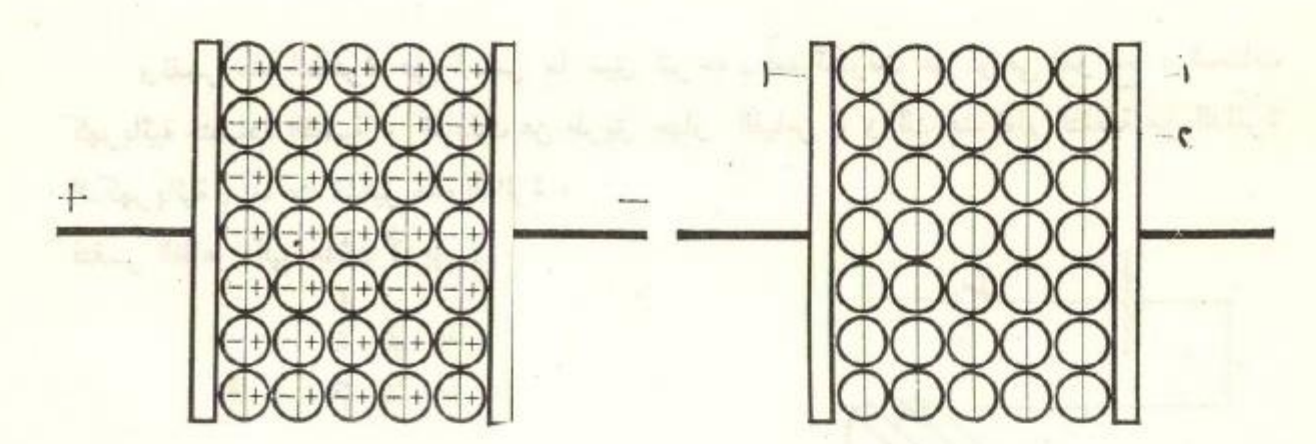
وتفسر هذه الظاهرة على أساس ما سبق شرحه . لقد تكونت على لوحى المواسع ، شحنات كهربائية متضادة القطبية ، تعادلت عن طريق جهاز القياس ، وذلك عند قطع التغذية عن الدائرة الكهربائية . أما عند تشغيل هذه الدائرة ،
فتفسر الظاهرة التى حدثت كما يلى :



شكل ١٤٧ : شكل يبين ظاهرة كهربائية تحدث فى مجال متجانس
١ – مصدر للجهد .
٢ – مفتاح كهربائى .
٣ – ألواح المواسع .
٤ – حلقة الموصل الموصلة بجهاز القياس .
٥ – جهاز القياس الموصل بألواح المواسع .

إذا رجعنا إلى نموذج الذرة المبين فى القسم الأول – الفصل الثانى ، تتكون مواد كثيرة من اتحاد ذرتين أو أكثر من تكوين مختلف ، فمثلا كلوريد الصوديوم يتكون من اتحاد الصوديوم والكلور . ويسمى أصغر جزء من اتحاد صوديوم وكلور ، أى اتحاد ذرة صوديوم مع ذرة كلور ، « الجزىء » . فمثلا جزىء ماء يتكون من ذرتين هيدروجين (يد) ، وذرة أكسيجين (أ) ويعبر عن هذا الاتحاد بالرمز (يد٢ أ) .وفى حالة التعادل الكهربائى للوسط الكهربائى العازل ، فإن الإلكترونات الموجودة فى جزيئاتها ، لا تتخذ إتجاها مفضلا لها (الشكل ١٤٨) .

وعندما يسلط جهد على ألواح المواسع ، تنضبط الشحنات الكهربائية الموجودة على الجزيئات بطريقة معينة . ويسمى هذا الانضباط أو الإزاحة للشحنات على الجزئيات « استقطاب الوسط الكهربائى العازل » (الشكل ١٤٩) . ويكون اتجاه الشحنات على الجزيئات ، بحيث ، تضاد الشحنة الموجبة لجزىء لوح المواسع المشحون السالب . وهذا يعنى ، أنه إذا سلط جهد على ألواح المواسع ،فانه يتكون مجال كهربائى.وبتعبير آخر يشحن المواسع ، ويصاحب ذلك ظهور تيار شحن وتيار استقطاب ، ويعبر عن هذين التيارين عادة « بتيار الإزاحة للوسط الكهربائى العازل » .



شكل١٤٨ : الجزيئات المتعادلة كهربائيا بين لوحى مواسع
١ – لوحا مواسع . ٢ – جزيئات .

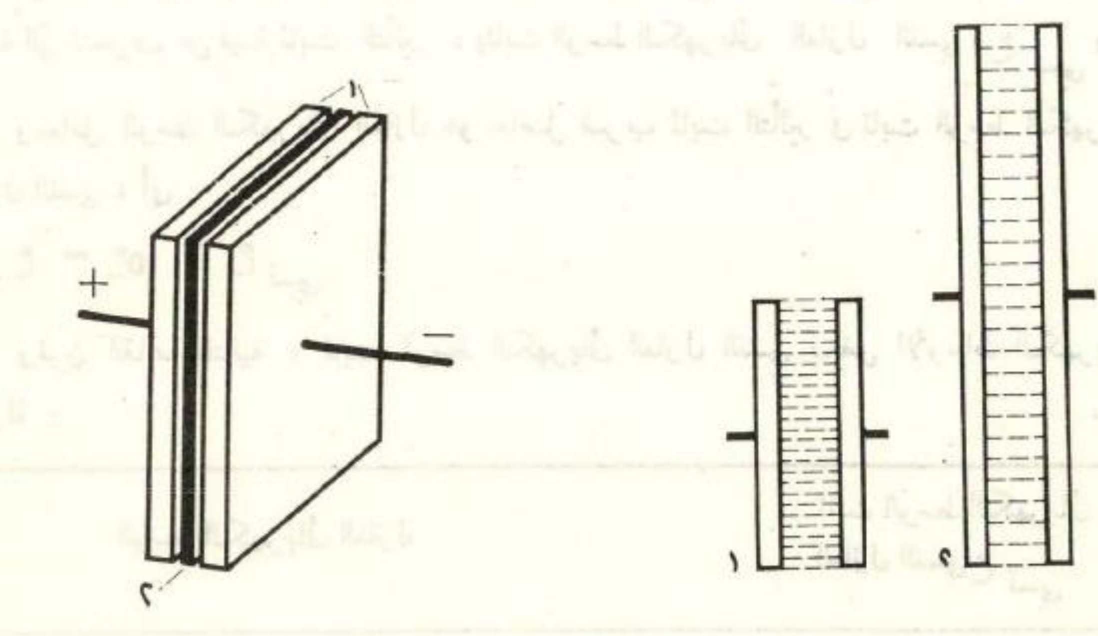
شكل ١٤٩ استقطاب الوسط الكهربائى العازل

(ب) كثافة الإزاحة الكهربائية :

تحمل ألواح مواسع مشحون ، كمية معينة من الكهرباء ك (القسم الأول – الفصل الرابع) . وتتوقف شدة المجال الكهربائى المتجانس ، التى يمكن بيانها بتباعد خطوط القوة ،على كمية الكهرباء ومساحة ألواح المواسع . والتمثيل المبين فى الشكل (١٥٠) ، مبنى على إفتراض أن كمية الكهرباء (والتى اصطلح عليها كشحنة) تكون هى نفسها فى كلا المواسعين كما هو مبين فى هذا الشكل ،أى أن

$\bar{ك}_{١} = \bar{ك}_{٢}$ ، وأن مساحة ألواح المواسع تختلف عن بعضها لبعض، أى أن $ح_{١} \neq ح_{٢}$. وفى كلتا الحالتين يتساوى عدد خطوط القوى ، ويمكن التحقق من ذلك بعدها ، ومع ذلك فإنها تكون متباعدة بمسافات أكبر ، فى حالة المواسع الأكبر . وهذا يبين أنه يمكن الحصول على مقياس لكثافة شحنة مواسع من خارج القسمة $\frac{\bar{ك}}{ح}$. وإذا وضع لوح معدنى داخل مجال مواسع بنفس الطريقة ، كما هو مبين بالشكل (١٥١) ، فإن شحنة كهربائية ك تنتج بالحث على هذا اللوح . وإذا كانت مساحة اللوح ح مساوية لمساحة المواسع $\bar{ح}$ ، تكون قيمة الكثافة من خارج القسمة $\frac{ك}{ح}$ مساوية لقيمتها من خارج القسمة $\frac{\bar{ك}}{\bar{ح}}$. ويسمى خارج القسمة هذا « كثافة الإزاحة الكهربائية » ويرمز لها بالرمز $ك_{١}$ ، أى :

$$ك_{١} = \frac{ك}{ح} = \frac{\bar{ك}}{\bar{ح}}$$



شكل ١٥٠ : تمثيل كثافة الشحنة
١ – مواسع بلوحين صغيرين .
٢ – مواسع بلوحين كبيرين .

شكل ١٥١ : تعيين كثافة الإزاحة
١ – لوحا مواسع .
٢ – ألواح معدن مستحثة ذات كثافة $\frac{ك}{ح}$

ويسمى خارج القسمة $\frac{\bar{ك}}{\bar{ح}}$ « كثافة الشحنة للمواسع » ويرمز لها بالرمز $ك_{ش}$ أيضا .

ونحصل على وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية من كية لكهرباء (الشحنة)، معبرا عنها بالأمبير ثانية (مب .ث) ، والمساحة معبرا عنها بالسنتيمتر المربع (سم^{2}) ، وعليه تكون وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية هى : $\frac{\text{مب.ث.}}{\text{سم}^{2}}$

(ج) معامل الوسط الكهربائى العازل :

لحصول على استقطاب ، وبالتالى على مجال متجانس ، تلزم شدة كهربائية ش لها قيمة معينة . ويتوقف ذلك على نوع الوسط الكهربائى العازل المستخدم فى المواسع . وقابلية الأوساط الكهربائية العازلة لاكتساب الاستقطابية ، هى خاصية تميز بثابت الوسط الكهربائى العازل ، الذى يعرف أيضا « بمعامل الوسط الكهربائى العازل « ع » . وبدراسة الاستقطاب فى الفراغ وجد أن « ثابت التأثير » « $ع_0$ » يساوى ٠٫٠٨٨٦ × ١٠$^{-١٢}$ $\frac{\text{مب . ث}}{\text{فل × سم}}$

ويمكن التعبير عن أوساط كهربائية عازلة أخرى بقيم مضاعفة من هذه القيمة . وتسمى القيمة التى تنحرف عن قيمة ثابت التأثير « بثابت الوسط الكهربائى العازل النسبى « $ع_{\text{نسبى}}$ » .

ومعامل الوسط الكهربائى العازل هو حاصل ضرب ثابت التأثير فى ثابت الوسط الكهربائى العازل النسبى ، أى :

$$ع = ع_0 \times ع_{\text{نسبى}}$$

وتبين القائمة التالية ، ثابت الوسط الكهربائى العازل النسبى لبعض الأوساط الكهربائية العازلة :

الوسط الكهربائى العازل	ثابت الوسط الكهربائى العازل النسبى $ع_{\text{نسبى}}$
كوارتز	٤
ميكا	٧
مطاط	٤
بونا (Buna)	٢٫٧
صينى صلد (مصقول)	٥٫٥ — ٦٫٥
أستيتيت	٥٫٥ — ٦٫٥
زجاج	٣ — ١٠
ورق مشرب بالبرافين	٢٫٥ — ٤

الوسط الكهربائى العازل		ثابت الوسط الكهربائى العازل النسبى $ع_{نسبى}$
ورق مضغوط		٢ — ٦
زيت محولات		٢ — ٢,٥
فــراغ		١
هــواء		١,٠٠٠٦
مـاء مقطر عند ٢٠ م°		٨٠
مواد فخارية خاصة :		
كاليت (Calit)		٦ — ٧
كوند نسان تمبـا	(Condensan Tempa)	٣٠ — ٥٠
إبسيلان	(Epsilan)	٤٠٠٠ — ٧٠٠٠
لدائن (بلاستيك) :		
استيروفلكس	(Styroflex)	٢,٤
كلوريد عديدالفينيل		٢,٨ — ٣,٤
بكاليت		٢,٩

(د) العلاقة بين الشحنة ومقاس الألواح والشدة الكهربائية وثوابت الوسط الكهربائى العازل :

يمكن أيضا تعيين كثافة الشحنة $\frac{ك}{ح}$ لمواسع ما ، إذا عرفت الشدة الكهربائية ش ، وثابت الوسط الكهربائى العازل النسبى $ع_{نسبى}$. ولذلك أهمية فى تصميم وتكوين المواسعات كما سيبين بعد .

فإذا كانت الشدة الكهربائية هى ش = $\frac{ج}{ل}$ معبرا عنها $\frac{فل}{سم}$ ،وثابت الوسط الكهربائى العازل هو $ع_0$ = $ع_{نسبى}$ معبرا عنه $\frac{مب . ث}{فل \times سم}$ ،فبضرب ش× ع نحصل على الوحدة التالية :

$$\frac{فل}{سم} \times \frac{مب . ث}{فل \times سم} \text{ ، أى نحصل على } \frac{مب . ث}{سم^2}$$

هذه الوحدة هى نفسها وحدة كثافة الشحنة أو وحدة كثافة الإزاحة .

ويمكن التعبير عن كثافة الشحنة لمواسع ، بطريقتين :

١ — $ك_{ش}$ = $\frac{ك}{ح}$ (نسبة شحنة مواسع إلى مساحة لوحة) .

٢ – $ك_{ش}$ = ع × ش (حاصل ضرب نوع الوسط الكهربائى العازل لمواسع فى الشدة الكهربائية للوسط) .

(هـ) المواسعات :

من $ك_{ش} = \frac{ك}{حـ}$ ، $ك_{ش} = ع \times ش = ع \times \frac{ج}{ل}$

ينتج أن $\frac{ك}{حـ} = ع \times \frac{ج}{ل}$

وعند حل هذه المعادلة لإيجاد قيمة ك :

$$ك = ع \times \frac{ج}{ل} \times حـ$$

وفى هذه المعادلة ، لمواسع إزالة التداخل من المحركات الكهربائية المنزلية ، أو فى مرشح موجه لمقوم ، تستخدم الكميات التالية :

١ – مساحة اللوح حـ

٢ – المسافة بين الألواح ل

٣ – نوع الوسط الكهربائى العازل مع ثابت الوسط الكهربائى العازل ع .

وتؤخذ هـــذه الكميات فى الاعتبار ، عند كتابة هذه المعادلة كما يلى :

$$ك = \boxed{ع \times \frac{حـ}{ل}} \times ج$$

والتعبير الموجود بداخل المستطيل $\frac{ع \times حـ}{ل}$ ، لمواسع من النوع المبين أعلاه ، هو ثابت يطلق عليه « المواسعة » ويرمز لهـا بالرمز س ، وهى مشتقة من السعة .

وتكون السعة أعلى كلما كان مقاس ألواح المواسع أكبر ، وكانت مسافة الألواح أصغر ، مع افتراض أن الوسط الكهربائى العازل يكون ثابتا . وعليه فان :

$$ك = س \times ج \text{ ، } س = \frac{ك}{ج}$$

بالتعمق فى دراسة تصميم المواسعات ، نجد أن المصممين يبذلون جهودا للوصول إلى تصميم مواسعة عالية ، بوضع الألواح أقرب ما يمكن من بعضها البعض ، وباختيار وسط كهربائى عازل ذى متانة كهربائية عازلة عالية ، (انظر القسم الأول – الفصل السادس) ، وباستخدام رقائق رفيعة من المعدن على مسافات صغيرة .

ووحدة المواسعة هي $\frac{\text{مب . ث}}{\text{فل}}$ ،وتسمى « فاراد » نسبة إلى عالم الطبيعيات الانجليزى فاراداى.
والفاراد الواحد عبارة عن كمية كهربائية ذات قيمة عالية . ويفضل عمليا استخدام وحدات مشتقة من الفاراد مثل :

١ ميكرو فاراد (ف) = ١٠ $^{-٦}$ ف

١ نانو فاراد (نف) = ١٠ $^{-٩}$ ف

١ بيكو فاراد (بف) = ١٠ $^{-١٢}$ ف

المواسعة س هى نسبة الشحنة ك إلى فرق الجهد أو الفلطية ج بين الموصلات،وعلى ذلك :

$$\text{س} = \frac{\text{ك}}{\text{ج}}$$

(و) الحسابات المتعلقة بالمواسعات :

مثـال :

مواسع مقاس لوحه ٦ سم × ٨ سم . استخدمت به ميكا بسمك ١م كوسط كهربائى عازل . فما مواسعة هذا المواسع ؟

المعطيات : مقاس اللوح ٦ سم × ٨ سم
المسافة بين الألواح ل = ١م
ثابت الوسط الكهربائى النسبى للميكا $\text{ع}_{\text{نسبى}}$ = ٧

المطلوب : المواسعة س

الحـــل :

$$\text{س} = \text{ع}_\text{o} \times \text{ع}_{\text{نسبي}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ل}}$$

ح = ٢ × ٦ × ٨ = ٩٦ سم^{٢} ، وعلى ذلك فان .

$$\text{س} = ٠,٠٨٨٦ \times ١٠^{-١٢} \times ٧ \times \frac{٩٦}{٠,١}$$

$$= ٥٩٥,٤ \times ١٠^{-١٢} = ٥٩٥,٤ \text{ بيكوناراد}$$

هذا المواسع له مواسعة قيمتها ٥٩٥,٤ بيكو فاراد .

مثـــال :

سلط جهد ١٥٠٠٠ فلط على مواسع له وسط كهربائى عازل من الورق المضغوط سمكه ٢م . فما الشدة الكهربائية للمواسع ؟

المعطيات : الجهدج = ١٥٠٠٠ فلط
المسافـة بين الألواح ل = ٢م

المطلوب : الشدة الكهربائية ش

الحـــل :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$

$$ش = \frac{١٥٠٠٠}{٠,٢} = ٧٥٠٠٠ \text{ فلط/سم}$$

الشدة الكهربائية للمجال على المواسع هى ٧٥٠٠٠ فلط/سم .

مثـــال :

سلط جهد ٢٢٠ فلط على مواسع ذى مواسعة قيمتها ١٦ ميكرو فاراد . فا الشحنة الموجودة على المواسع ؟

المعطيات : المواسعة = ١٦ ميكر فاراد

الجهد ج = ٢٢٠ فلط

المطلوب : الشحنة الكهربائية ك

الحـــل :

$$ك = س \times ج$$

$$= ١٦ \times ١٠^{-٦} \times ٢٢٠$$

$$= ٣,٥٢ \times ١٠^{-٣} \text{ مب .ث}$$

الشحنة الموجودة على المواسع هى ٣,٥٢ × ١٠$^{-٣}$ أمبير ثانية .

(ز) فقد العزل لمواســع :

إذا سلط جهد على جهاز قياس فرق الجهد الكهربائى المطلق (انظر القسم الثانى – الفصل الثالث) ، تقترب الألواح من بعضهــا البعض،وفى نفس الوقت يتكون مجال كهربائى متجانس بينهما . وتشبه هذه الترتيبة ، ترتيبة مواسع . فإذا كانت هذه النبيطة غير مفرغة (مثلا ، عن طريق القياس) فإن الألواح لا تظل على نفس المسافة لفترة طويلة ، بل يحدث تفريغ ، ويكون هذا التفريغ نتيجة لموصلية الوسط الكهربائى العازل . ولذلك تكون مقاومة العزل للوسط الكهربائى العازل عالية جداً ، مع أنه سيمر تيار صغير حتما . ويسمى هذا التيار « تيار العزل » أو « تيار التسرب » الذى يسبب اضمحلال المجال الكهربائى . وعندما يظل الجهد مسلطاً على المواسع لفترة أطول ، يمر تيار تسرب باستمرار ، يمثل مع الجهد المسلط فقد قدرة للمواسع . ويسمى فقد القدرة هذا « فقد العزل » ويمكن أن يكون لفقد القدرة شكل آخر ، إذا كان المواسع مغذى بجهد متردد . وفى مجال دراستنا لاستقطاب الوسط الكهربائى العازل ذكرنا أن تيار إزاحة الوسط الكهربائى العازل يسرى نتيجة لاستقطاب جزيئات هذا الوسط.وإذا سلط تيار متردد على المواسع، يعرض الوسط الكهربائى العازل إلى انعكاس مستمر للقطبية .

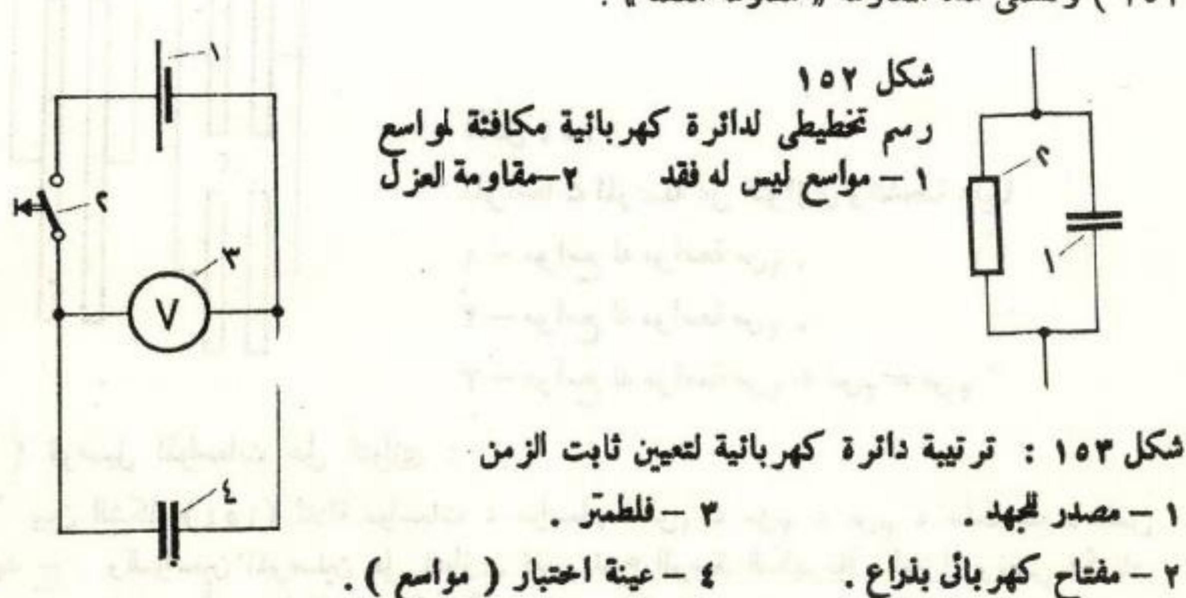
ويمثل تيار الإزاحة للوسط الكهربائى العازل ، مع الجهد المسلط ، فقد قدرة للمواسع . ويسمى فقد القدرة هذا « فقد الوسط الكهربائى العازل » .

من هذا يتبين أن المواسعات التى تعمل بالتيار المستمر تكون معرضة لفقد عزل ، بينما تكون المواسعات التى تعمل بالتيار المتردد معرضة لكل من فقد العزل وفقد الوسط الكهربائى العازل . ويظهر هذا الفقد فى شكل حرارة تتولد فى المواسع الذى يحدث فيه الفقد . ولقد بذلت مجهودات كبيرة للمحافظة على قيمة هذا الفقد صغيرا بقدر الإمكان . ومن البديهى ، أنه يجب اختيار عازل ذى جودة عالية . ويكون ثابت الزمن ز مقياسا لهذه الجودة .

ولشرح ثابت الزمن ز ، نأخذ فى الاعتبار مواسعاً (لا داعى لوصفه هنا) ويكون لمواسعته س ولمقاومة عزل وسطه الكهربائى العازل م أهمية .

ونفرض استخدام هذا المواسع على التيار المستمر لسهولة الشرح .

لتمثيل مقاومة العزل م ، يمكن استخدام رسم تخطيطى لدائرة كهربائية مكافئة ، تمثل مواسعاً ليس له فقد ، موصل على التوازى مع مقاوم ، تكون مقاومته مكافئة للعزل (الشكل ١٥٢) وتسمى هذه المقاومة « مقاومة الفقد » .



شكل ١٥٢
رسم تخطيطى لدائرة كهربائية مكافئة لمواسع
١ – مواسع ليس له فقد ٢ –مقاومة العزل

شكل ١٥٣ : ترتيبة دائرة كهربائية لتعيين ثابت الزمن
١ – مصدر الجهد . ٣ – فلطمتر .
٢ – مفتاح كهربائى بذراع . ٤ – عينة اختبار (مواسع) .

ويكون حاصل ضرب المواسعة التى ليس لها فقد س فى مقاومة الفقد م هو ثابت الزمن ز

ز = س × م .

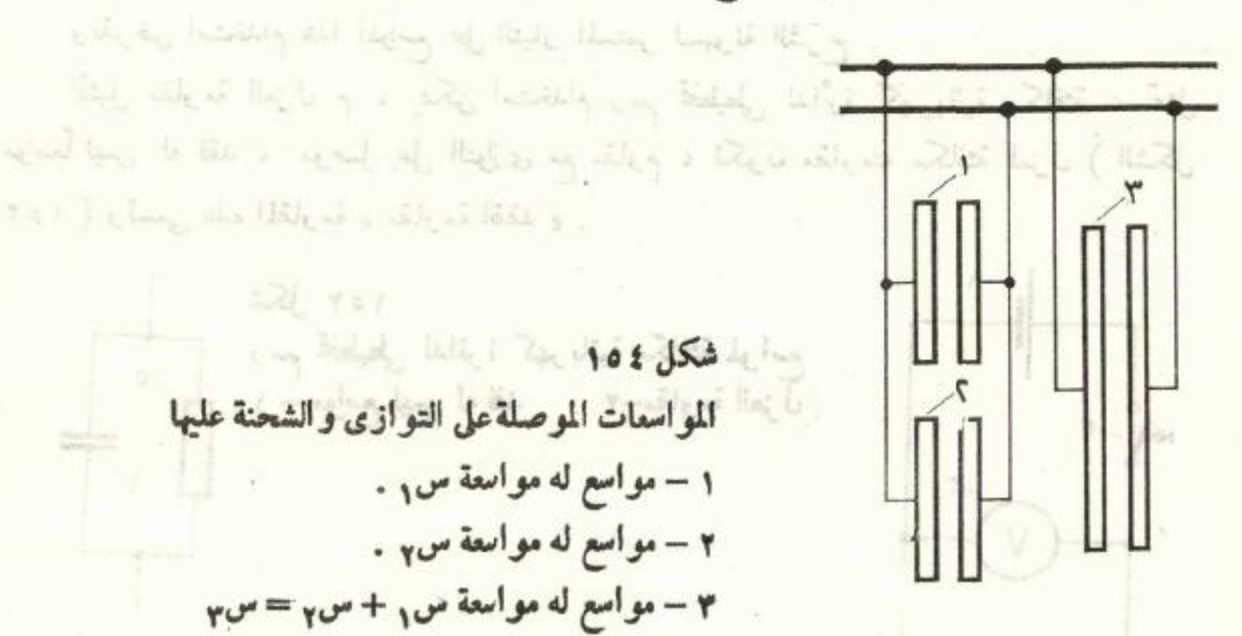
وكلما طالت الفترة التى يستبقى خلالها مواسع مشحون شحنته ، بالمقارنة بمواسع آخر له نفس المواسعة ، كانت جودة عزل هذا المواسع أعلى . والمواسع الذى ليس له فقد ، يكون قادراً على الاحتفاظ بشحنته لفترة لا نهائية . وحتى الآن لم يمكن إنتاج مثل هذا المواسع . وهناك علاقة بين ثابت الزمن ز والجهد المسلط ج لمواسع . وثابت الزمن ز هو الوقت الذى يفرغ خلاله مواسع ليس له فقد عن طريق مقاوم موصل على التوازى إلى $\frac{١}{٢,٧٢}$ من جهد شحنة .

وعلى أساس هذه العلاقة يمكن تعيين المواسعة، مع التقريب البسيط، وبمساعدة طرق بسيطة نسبياً، ويلزم لذلك مصدر للجهد بتيار مستمر، وقاطع دائرة كهربائية، وفلطمتر، وساعة، (الشكل ١٥٣).

والفقد الذى يمارسه مواسع يميز بفقد عزل وبفقد وسط كهربائى عازل. وفى الحياة العملية يجرى كل شئ فى سبيل المحافظة على هذا الفقد أصغر ما يمكن. ولا جدال فى أن لجودة العزل للوسط الكهربائى العازل أثره على فقد المواسع. وثابت الزمن ز هو بيان مناسب لتقييم جودة العزل.

١١/٤ – ترتيبة الدائرة الكهربائية للمواسعات :

فيما يتعلق بمناقشة الدوائر والشبكيات الكهربائية البسيطة، ناقشنا علاقات التيار والجهد والإمكانيات المختلفة لترتيب المقاومات فى دائرة كهربائية. وبالمثل يمكن استخدام المواسعات كعناصر دائرة كهربائية. ويشير الشرح التالى إلى ترتيب لمواسعات فى دوائر التيار المستمر.



شكل ١٥٤
المواسعات الموصلة على التوازى والشحنة عليها
١ – مواسع له مواسعة $س_1$.
٢ – مواسع له مواسعة $س_2$.
٣ – مواسع له مواسعة $س_1 + س_2 = س_3$

(أ) توصيل المواسعات على التوازى :

يبين الشكل (١٥٤) ثلاثة مواسعات، مواسعاتها $س_1$، $س_2$، $س_3$، سلط عليها نفس الجهد ج. وللمواسعين الموصلين على التوازى نفس نوع الوسط الكهربائى العازل ونفس الأبعاد الهندسية. وتساوى أبعادهما الهندسية معاً الأبعاد الهندسية للموسع الثالث. ويمكن التحقق باستخدام القياس من أنه فى هذه الحالة :

$$س_1 + س_2 = س_3 \quad ، \quad ك_1 + ك_2 = ك_3$$

علاوة على ذلك، فإنه يمكن إستخدام المعادلة الآتية فى هذه الحالة :

$$س_1 \times ج + س_2 \times ج = س_3 \times ج$$

يبين الشكل (١٥٥)، ثلاثة مواسعات موصلة على التوازى، مواسعاتها $س_1$، $س_2$، $س_3$. يمكن الحصول على المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة من

$$س_{إجمالية} = س_1 + س_2 + س_3$$

شكل ١٥٥ : ثلاث مواسعات موصلة على التوازى

ويمكن أن يكون للمواسعة أى قيمة مطلوبة

من هذا ينتج أن :

عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوازى . تكون المواسعة الإجمالية مساوية لحاصل جمع كل مواسعة على حدة :

وإذا وصلت مواسعات لها نفس المواسعة على التوازى فى دائرة كهربائية، تكون المواسعة الإجمالية لها :

$$\text{س}_{1\,\text{إجمالية}} = \text{ن} \times \text{س}$$

حيث ن عدد المواسعات الموصلة على التوازى .

شكل ١٥٦ : أربع مواسعات موصلة على التوازى

١ – $\text{س}_1 = ٨\ \mu$ ف . ٢ – $\text{س}_2 = ٨\ \mu$ ف . ٣ – $\text{س}_3 = ٢\ \mu$ ف .
٤ – $\text{س}_4 = ٤\ \mu$ ف .

مثـــال :

ما المواسعة الإجمالية للترتيبة المبينة فى الشكل (١٥٦) :

المعطيات : انظر الشكل (١٥٦) .

المطلوب : س إجمالية

الحـــل :

$$\text{س}_{\text{إجمالية}} = \text{س}_1 + \text{س}_2 + \text{س}_3 + \text{س}_4$$
$$= ٨ + ٨ + ٢ + ٤$$
$$= ٢٢\ \mu\ \text{ف}$$

المواسعة الاجمالية للترتيبة هى ٢٢ μ ف .

(ب) توصيل المواسعات على التوالى :

يبين الشكل (١٥٧) ثلاثة مواسعات موصلة على التوازى ، مواسعاتها س_1 ، س_2 ، س_3 .
فرق الجهد فى هذه الدائرة الكهربائية $\text{ج} = \text{ج}_1 + \text{ج}_2 + \text{ج}_3$ كما هو مبين بالشكل .

لتعيين المواسعة الإجمالية :

$\text{ج} = \dfrac{\text{ك}}{\text{س}}$. ومن هذه العلاقة نستنتج :

$$\text{ج} = \frac{\text{ك}}{\text{س}_1} + \frac{\text{ك}}{\text{س}_2} + \frac{\text{ك}}{\text{س}_3} = \frac{\text{ك}}{\text{س}_{\text{إجمالية}}}$$

فبالقسمة على ك نحصل على :

$$\frac{1}{\text{س}_{\text{إجمالية}}} = \frac{1}{\text{س}_1} + \frac{1}{\text{س}_2} + \frac{1}{\text{س}_3}$$

شكل ١٥٧ : ثلاث مواسعات موصلة على التوالى

هذا يعنى أنه عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوزى ، فإن مقلوب المواسعة الإجمالية يساوى حاصل جمع مقلوب كل مواسعة على حدة .

ويطبق الآتى على مواسعين موصلين على التوالى :

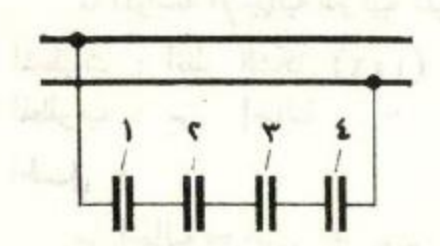
$$\text{س}_{\text{إجمالية}} = \frac{\text{س}_{١} \times \text{س}_{٢}}{\text{س}_{١} + \text{س}_{٢}}$$

مثـــال :

ما المواسعة الإجمالية لترتيبة الدائرة الكهربائية المبينة فى لشكل (١٥٨) ؟

المعطيات : انظر الشكل (١٥٨)

المطلوب : $\text{س}_{\text{إجمالية}}$



شكل ١٥٨ : أربعة مواسعات موصلة على التوالى

١ – س = ٢ μف . ٣ – س = ٤ μف .

٢ – س = ٨ μف . ٤ – س = ٤ μف .

الحـــل :

$$\frac{١}{\text{س}_{\text{إجمالية}}} = \frac{١}{\text{س}_{١}} + \frac{١}{\text{س}_{٢}} + \frac{١}{\text{س}_{٣}} + \frac{١}{\text{س}_{٤}}$$

$$= \frac{١}{٢} + \frac{١}{٨} + \frac{١}{٤} + \frac{١}{٤}$$

$$= \frac{٤}{٨} + \frac{١}{٨} + \frac{٢}{٨} + \frac{٢}{٨}$$

$$= \frac{٩}{٨ \ \mu \ \text{ف}}$$

$$\text{س}_{\text{إجمالية}} = \frac{٨}{٩} \ \mu \ \text{ف}$$

$$= ٠{,}٨٨ \ \mu \ \text{ف}$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة ٠,٨٨ μ ف .

وإذا كانت الدائرة الكهربائية تشتمل على مواسعات لها نفس المواسعة موصلة على التوالى نستخدم الصيغة :

$$س_{إجمالية} = \frac{س}{ن}$$

حيث ن عدد المواسعات الموصلة على التوالى .

مثـال :

دائرة كهربائية تشتمل على ٦ مواسعات مواسعة كل منها ١٦ μ ف . موصلة على التوالى . فا المواسعة الإجمالية لهذه الدائرة ؟

المطلوب : $س_{إجمالية}$

الحـل :

$$س_{إجمالية} = \frac{س}{ن}$$

$$س_{إجمالية} = \frac{١٦}{٦}$$

$$س_{إجمالية} = ٢,٦٧ \ \mu \ ف$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة هى ٢,٦٧ μ ف

١١ ٥ – الأنواع المختلفة للمواسعات :

للمواسعات تطبيقات كثيرة فى الدوائر الكهربائية ،وتنقسم من حيث تصميمها إلى :

مواسعات مغلقة .

مواسعات أنبوبية .

مواسعات ألـواح .

مواسعات ألواح دوارة أو مواسعات متغيرة .

مواسعات تشذيب .

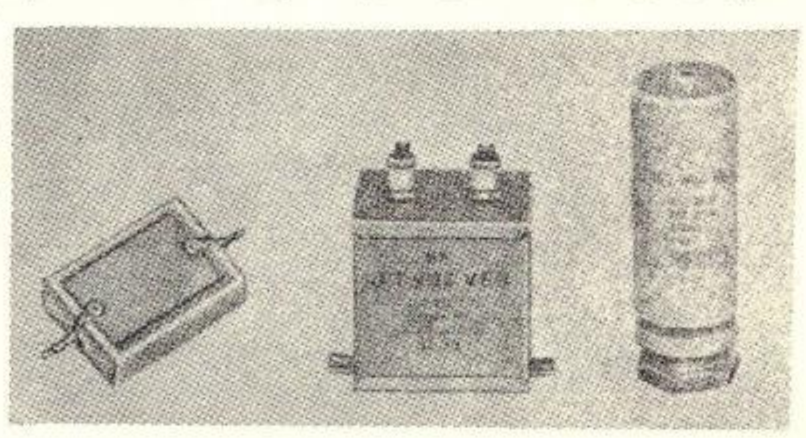
*وعلى العموم فإن تصميم المواسع لا يعطى أى بيانات عن مواسعته ، ومتانة وسطه الكهربائى العازل ، ومقاومته لظروف الحرارة القاسية ، ونوع وسط الكهربائى العازل وأبعاده الهندسية .

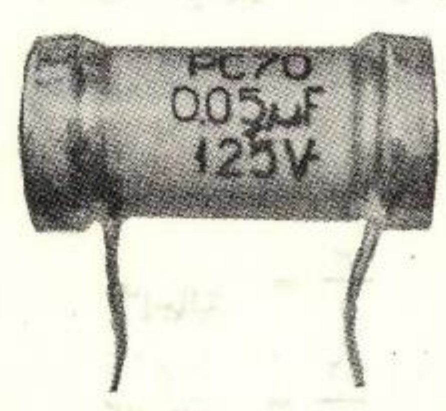
وتبعاً لنوع الوسط الكهربائى العازل ، فإنه يمكن تصنيف المواسعات إلى :

مواسعات هوائية .
مواسعات ميكا .
مواسعات خزفية .
مواسعات إلكترو ليتية .

والتطبيق المعطى يحكم ويختار التصميم ، والوسط الكهربائى العازل للمواسع ، على أساس التطبيق المطلوب . ومثال لذلك ، فإن المواسعات ذات المواسعة الصغيرة تعمل عادة كمواسعات خزفية ، لأن إنتاجها بهذا الشكل ، يكون أقل تكلفة من إنتاج الموسعات الورقية . وتبين الأشكال من (١٥٩) إلى (١٦٣) ، بعض تصميمات المواسعات .

وهناك تصنيف آخر للمواسعات بنى على طريقة تشغيلها ، ويميز بين المواسعات ذات المواسعة المتغيرة والمواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة ، وبالاختصار بين المواسعات المتغيرة وغير المتغيرة .





الشكل ١٦٢ الشكل ١٦١ الشكل ١٦٠ الشكل ١٥٩

الشكل (١٥٩) مواسع خزفى
(VEB Keramische Werke Hermedorf GDR)
الشكل (١٦٠) مواسع إليكتروليتى
الشكل (١٦١) مواسع ورق
الشكل (١٦٢) مواسع ميكا

شكل ١٦٣ : مواسع متغير
(حوالى ٥٠٠ بيكو فراد)

(ا) المواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة :

تصنع المواسعات غير المتغيرة لقيم معينة للمواسعة . واعتماداً على جودة المنتج ، ينص عادة على اختلاف قيمها عن هذه القيمة أو المقننات ، كنسبة مئوية ، وذلك بواسطة المنتج . علاوة على ذلك يزود المواسع ببطاقة مقننات ، تعطى معلومات عن المواسعة ، و لجهد المقنن (وأحياناً جهد الاختبار أيضاً) وعلامة المنتج وتاريخ الإنتاج .

والجدول التالى يعطى حصراً للمواسعات ذات الموسعة غير المتغيرة الأكثر شيوعاً فى الاستخدام :

النوع	الشكل	الوسط الكهربائى العازل	الوسط الكهربائى البطانة	التطبيق
مواسع ورق	شكل مجمع ، أنبوبى ، أسطوانى	ورق مشبع بالبارافين ، ورق زيت .	رقيقة ألومنيوم ، معادن مرسب عيها بخار ألومنيوم .	هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية ، مواسعات القدرة غير الفعالة فى هندسة التيار القوى
مواسع برقيقة من البلاستيك	أسطوانى ، طراز درفين	استيروفلكس	ألومنيوم	معدات القياس اللاسلكية
مواسعات ميكا	مكعبات	ميكا	فضة ، معادن مرسب عليها بخار ألومنيوم	أجهزة المعايرة والقياس التى تعمل بتيار متردد عالى التردد
مواسع إلكتروليتى	أسطوانى	أكسيد ألومنيوم ، هيدروكسيد ألومنيوم	ألومنيوم	مرشحات الموجة ، تسوية التيار المقوم ، المواسعات العالية ذات المساحة الصغيرة لاستعمال التيار المستمر فقط

مواسع خزفى	أنبوبى، على هيئة فنجـــان	كاليت ، عـادة فضـة تمبـا ، ابسـلان	هندسة الاتصالات اللاســلكية ، المواسعات ، ذات الاستقرار العالى ، استقرار الجـهود العالية .

(ب) المواسعات ذات المواسعة المتغيرة :

يمكن تغيير المواسعة المتغيرة فى نطاق مدى معين بواسطة نبائط ميكانيكية . وعادة ، تصمم هذه المواسعات على شكل مواسعات ألواح دوارة (الشكل ١٦٣) ، وتصنع من عدد من ألواح معدنية متوازية ثابتة موصلة ببعض وتكون لوحا واحدا من المراسع ، بينما تكون اللوح الآخر مجموعة أخرى من الألواح المتحركة الموصلة أيضا ببعض . وبتدوير عمود محور يمكن أن تتداخل المجموعة الثانية فى الأولى تداخلا كبيراً أو صغيراً . وتكون المساحة الفعالة للمواسع هى مسافة ذلك الجزء من الألواح المتداخل مع بعضه البعض فقط . ويشتمل الجدول التالى على قائمة للمواسعات المتغيرة الأكثر شيوعاً فى الاستخدام :

النـوع	الوسط الكهربائى العازل	التطبيق
مواسع هوائى متغير	هـــواء	دوائر موالفة التذبذبات
مواسع ورق متغير	ورق ، رقيقة البلاستيك	دوائر موالفة التذبذبات ، التغذية المرتجعة المعاد توليدها ، الوحدات الصغيرة المتضامة المعرضة للفقد الكبير .
مواسع تشذيب	عادة ، كوندنسان تمبا ، إبسلان	دوائر موالفة التذبذبـات ، هندسة القياس بالترددات العالية.

الفصل الثانى عشر

التيـــار المتردد

كان الشرح والنصوص المتعلقة بالتقنينات الكهربائية العامة ، التى بينت فى الأقسام السابقة مقصورة على دوائر التيار المستمر . ومصادر الجهد التى استخدمت فى الأبحاث السابقة، كانت قبل كل شئ عبارة عن أعمدة جلفانية ، مثل المراكم أو أنظمة التغذية التى توزع جهدا مستمرا من مولدات . وعلى كل ، فالتيار المستمر له أهمية صغرى بالنسبة لمصادر الكهرباء العامة ، لأن كلا من نقل وتوزيع التيار المستمر ، يظهر مضارا لا توجد فى مصادر التيار المتردد . أما اليوم ، فإن أغلبية محطات القوى تولد جهدا مترددا ، كما أن التيار المتردد ينقل إلى كل مكان . والمستهلكون الذين يستخدمون تيارا مستمرا يحصلون عليه بتحويل التيار المتردد بواسطة معدات مناسبة .

١٢|١ – التيـــار المتردد الجيبى :

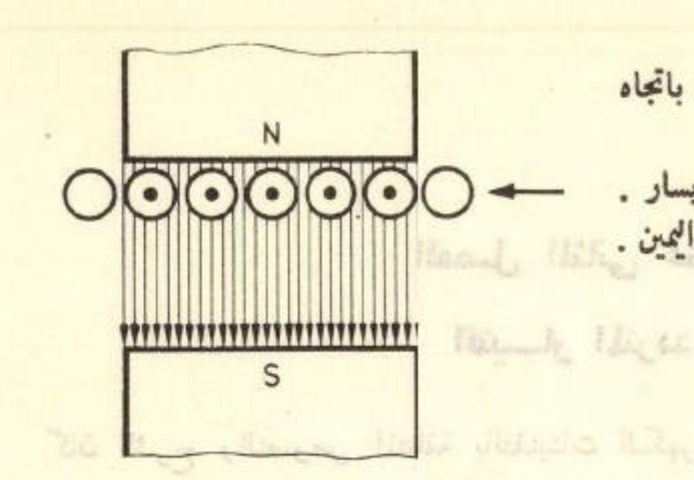
(ا) تعريف فكرة التيـــار المتردد :

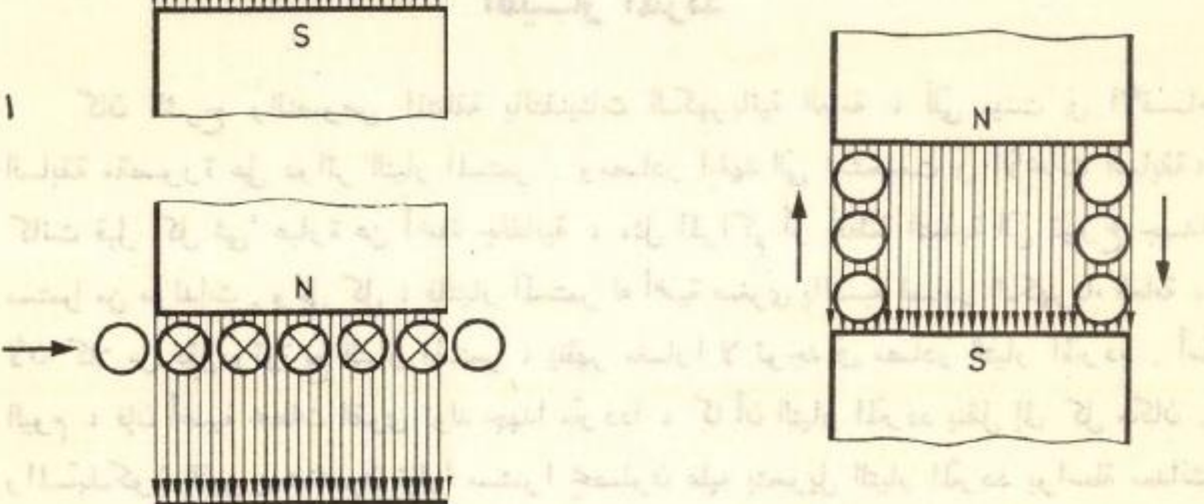
للبدء فى مناقشة التيار المتردد نشير إلى الشكل (١٢٦) ، عندما يمر موصل خلال مجال مغنطيسى ، ينتج بالحث جهد يخضع اتجاه تياره لقاعدة اليد اليمنى ، وإذا كان الموصل خارج نطاق المجال المغنطيسى ، ينخفض الجهد إلى الصفر ، أى لا ينتج الجهد بالحث بعد ذلك ، وعليه لا يسرى تيار . وعندما يمر الموصل مرة ثانية عبر المجال المغنطيسى ، يسرى التيار فى اتجاه عكسى، ويبين ذلك بالشكل (١٦٤) .

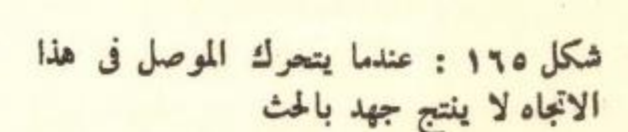
وإذا تحرك الموصل عبر المجال المغنطيسى ، موازيا لخطوط الفيض ، لا يحدث حث (الشكل ١٦٥) . ويعطى الشكل (١٦٦) إيضاحا للظاهرة التى تسبب سريان تيار عندما يتحرك موصل ذهابا وإيابا ، طبقا لما هو مبين بالشكل (١٦٤) . وعندما يؤخذ بالموصل عبر المجال المغنطيسى ، تزداد شدة التيار بسرعة إلى قيمة تظل ثابتة ، حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى .

ويبين هذا بالجزء العلوى من المنحنى (١) من الشكل (١٦٦) . وعندما يؤخذ بالموصل مرة ثانية عبر المجال ، يزداد التيار مرة ثانية بسرعة ، إلى قيمة تظل كما هى ، حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى . وعلى كل فإنه يجب ملاحظة أن اتجاه التيار يكون عكس اتجاه التيار المنتج بالحث فى الحركة الأولى للموصل . كما هو مبين بالجزء السفلى من المنحنى (٢) بالشكل (١٦٦) .

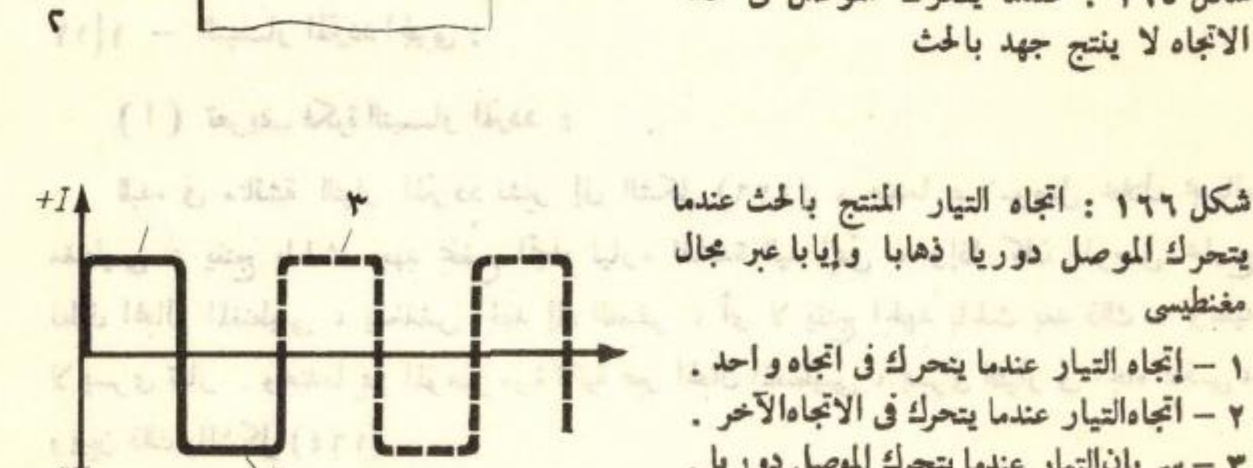
شكل ١٦٤ : اتجاه التيار المنتج بالحث باتجاه عكسى للحركة
١ – اتجاه التيار عند التحرك من اليمين إلى اليسار .
٢ – اتجاه التيار عند التحرك من اليسار إلى اليمين .







شكل ١٦٥ : عندما يتحرك الموصل فى هذا الاتجاه لا ينتج جهد بالحث

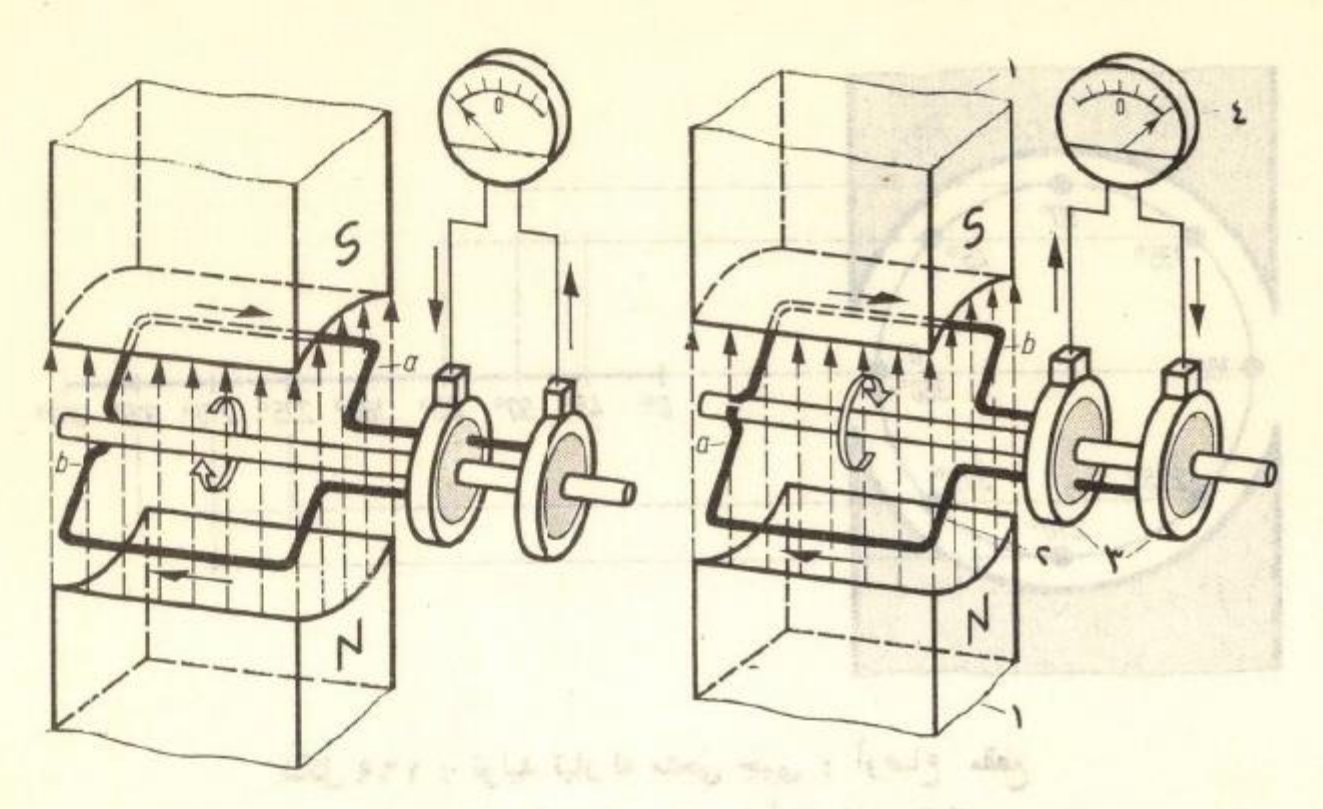


شكل ١٦٦ : اتجاه التيار المنتج بالحث عندما يتحرك الموصل دوريا ذهابا وإيابا عبر مجال مغنطيسى
١ – إتجاه التيار عندما يتحرك فى اتجاه واحد .
٢ – اتجاه التيار عندما يتحرك فى الاتجاه الآخر .
٣ – سريان التيار عندما يتحرك الموصل دوريا .

وإذا تحرك الموصل ذهابا وإيابا دوريا ، نحصل على منحنى تيار ، كما هو مبين بالخطوط المتقطعة (٣) فى الشكل (١٦٦) . وسريان التيار المنتج بالحث المبين هنا ، هو سريان للتيار المتردد . وهو يتغير باستمرار فى الاتجاه والشدة .

(ب) الحلقة الموصلة الدوارة فى المجـــال المغنطيسى :

يكون إنتاج جهد متردد بالحث ، بالطريقة المبينة أعلاه ، غير عملى من الناحية الصناعية ، بينما يكون توليد الجهد المتردد ، على أساس الحركة الدورانية ، له فوائده . ويبين الشكل (١٦٧) مثالا لنموذج لمولد تيار متردد يوضح كيفية إنتاج تيار متردد على النطاق التجارى .



شكل ١٦٧ : نموذج لمولد تيار متردد
١ – أقطاب مغنطيسية . ٣ – حلقة انزلاق .
٢ – حلقة مستطيلة بمقاطع ٤ – جهاز قياس .

شكل ١٦٨ :
وضع الحلقة بعد نصف دورة

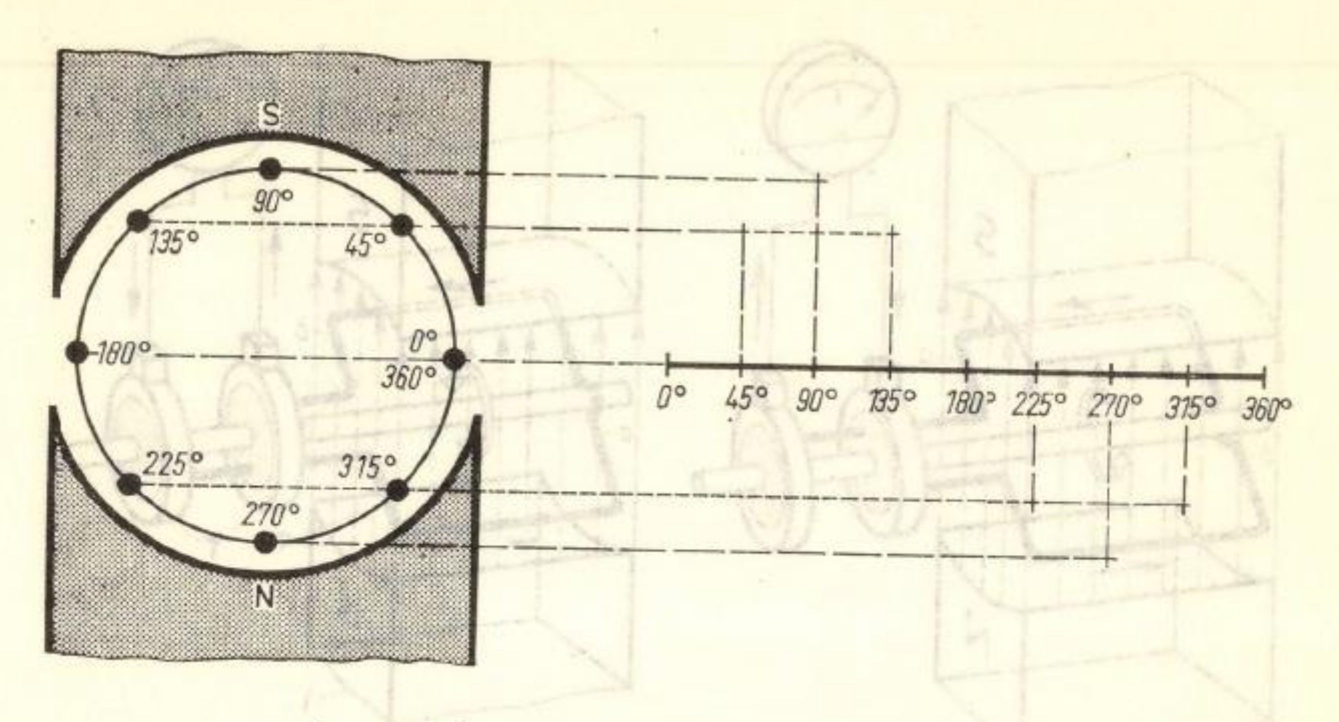
تصمم الأقطاب المغنطيسية ، بحيث تتحرك الأجزاء المتوازية (b ، a) من الحلقة على نفس البعد من السطح الكلى لهما . وعندما نلقى نظرة أقرب ، على مقطع الموصل (b) ، نجد أنه يتحرك تجاه الرائى ، بينما يتحرك مقطع الموصل (a) بعيدا عن الرائى . ويكون اتجاه سريان التيار فى الحلقة مبينا بالأسهم . ويبين فى الشكل رقم (١٦٨) نفس مولد التيار المتردد بعد تحرك الحلقة نصف دورة .

وعندما نلقى نظرة أقرب على مقطعى الموصل (b ، a) ، نجد أن اتجاه الحركة واتجاه التيار فى أحدهما يكونان عكس الآخر . وعندما تدور الحلقة فى نطاق المجال المغنطيسى ، بسرعة منتظمة ، يغير التيار الكهربائى اتجاهه مع كل دورة بمعدل منتظم . ويبين منحنى التيار الذى نحصل عليه بهذه الكيفية بالشكل (١٦٩) .

بتخيل الممر الدائرى ، المرسوم بواسطة مقطع الموصل أثناء دورانه ، نجد أنه يمر خلال الأوضاع : صفر° ، ٤٥° ، ٩٠° ، ١٣٥° ، ١٨٠° ؛ ٢٢٥° ، ٢٧٠° ، ٣١٥° و ٣٦٠° (وهذا الوضع الأخير يتطابق مع الوضع صفر°) ، المبينة على الدائرة فى الشكل (١٦٩) .

ويمكن حساب المسافة التى يقطعها مقطع الموصل فى دورة واحدة من :

ل = ط × ق



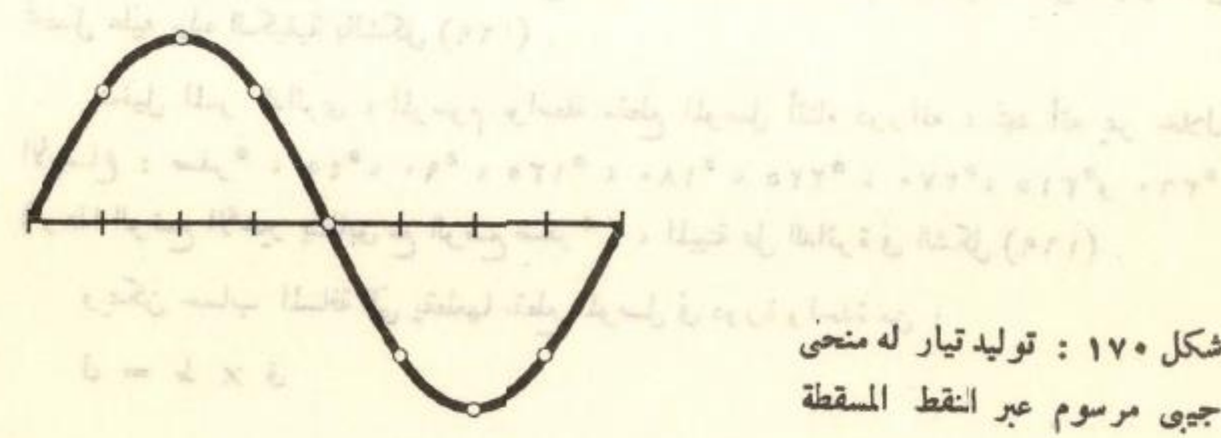
شكل ١٦٩ : توليد تيار له منحنى جيبى : أوضاع مقطع
الموصل مسقطة على خط مستقيم له أبعاد الممر الدائرى

حيث ل = طول المحيط .
ق = قطر الدائرة .
ط = النسبة التقريبية للدائرة .

توقع هذه المسافة على المنحنى قرب الدائرة وعلى مستوى مركزها ،ويستدل على نقطة البداية بالرقم صفر ، وعلى نقطة النهاية بالرقم ٣٦٠° . ويمكن التعبير عن أى قسم بين هذه النقط بالآتى :

$$\frac{١}{٨} \text{ ق} \times \text{ط}$$

وهذا يساوى الفرق الزاوى لوضع ٤٥° . وعند إسقاط أوضاع الموصل (بدءا بالوضع ٤٥°) نحصل على نقط أعلى وأسفل الخط المستقيم . وتوصل هذه النقط بمنحنى يمر بها (الشكل ١٧٠) . ويمكن استنتاج ما يلى ، من هذا المنحنى للتيار :



شكل ١٧٠ : توليد تيار له منحنى
جيبى مرسوم عبر النقط المسقطة

١ – يزداد التيار من قيمة الصفر (عند وضع صفر°) إلى قيمة قصوى (عند وضع ٩٠°) .

٢ – ينخفض التيار من القيمة القصوى (عند وضع ٩٠°) إلى قيمة الصفر (عند وضع ١٨٠°) .

٣ – يزداد التيار من قيمة الصفر (عند وضع ١٨٠°) إلى قيمة قصوى (عند وضع ٢٧٠°) متخذا اتجاها عكسيا .

٤ – ينخفض التيار من القيمة القصوى (عند وضع ٢٧٠°) إلى قيمة الصفر (عند وضع ٣٦٠°) .

ويسمى التيار المـار بين الوضعين صفر° ، ١٨٠ « بالتيار الموجب » . ويسمى التيار المار بين ١٨٠° ، ٣٦٠° « بالتيار السالب » . وعلى ذلك يكون لمنحنى التيار الجيبى : قيمة قصوى موجبة ، وقيمة قصوى سالبة . وعند مقارنة الشكل (١٦٤) والشكل (١٦٥) بالمنحنى المبين فى الشكل (١٧٠) يمكن ملاحظة الآتى : يتحرك مقطع الموصل عموديا على خطوط المجال خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد بين ٩٠° ، ٢٧٠° . وفى هذين الوضعين ، وخلال هاتين الفترتين ، ينتج بالحث أعلى جهد ، وبالتالى أعلى شدة للتيار . ويكون اتجاه حركة مقطع الموصل موازيا لخطوط المجال فقط خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد عند صفر° / ٣٦٠° ، ١٨٠° . وفى هذه الفترات لا ينتج جهد بالحث .

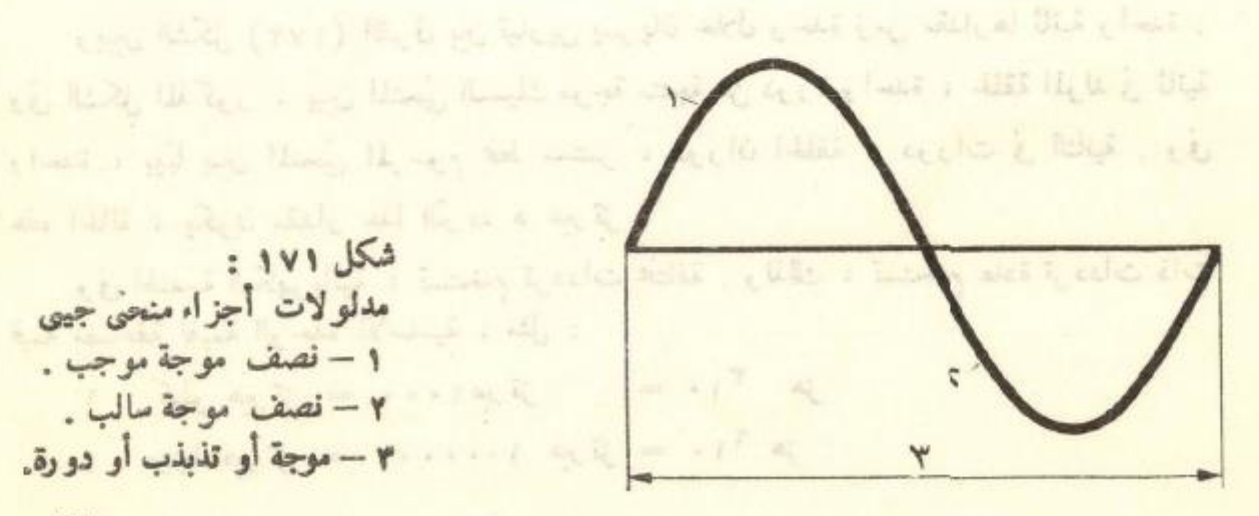
٢/١٢ – كميات لتعيين التيـــار المتردد :

(ا) الموجـــة والدورة :

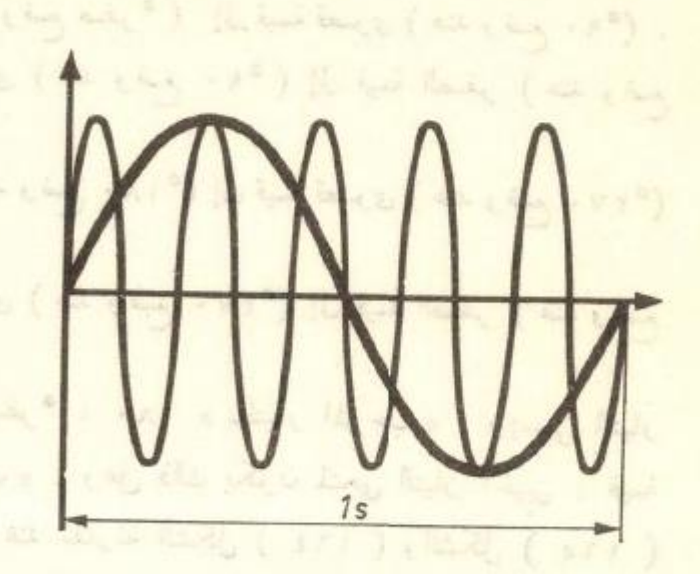
لمنحنى التيار المتردد المبين فى الشكل (١٧٠) بضع خصوصيات . ويسمى المنحنى الذى ينتج خلال دورة واحدة لمولدات التيار المتردد « موجة واحدة أو تذبذب واحد » وتتكون الموجة من نصفى موجة أحدهما موجب (+) والنصف الآخر سالب (–) .

وينتج خلال الدورة الثانية للحلقة فى المولد منحنى تيار آخر ، يشابه الأول . تكرر هذه الدورة دوريا أثناء تحرك حلقة الموصل . لذلك تسمى أيضاً الموجة الواحدة أو التذبذب الواحد « دورة » أو « موجة كاملة » .

يبين الشكل (١٧١) أجزاء المنحنى ومدلولاتها :



شكل ١٧١ :
مدلولات أجزاء منحنى جيبى
١ – نصف موجة موجب .
٢ – نصف موجة سالب .
٣ – موجة أو تذبذب أو دورة.



شكل ١٧٢ :
تمثيل الترددات ١ هيرتز ،د هيرتز

(ب) التردد والـــدورة :
لحساب عدد مرات إنتاج موجة فى وحدة زمن مثل دقيقة واحدة ، يجب الأخذ فى الاعتبار للمعدل الذى تدور به الحلقة المستطيلة من السلك ، ويتوقف الاستخدام الاقتصادى للتيار المتردد التجارى على عدد معين من الموجات فى وحدة زمن . ويستخدم التعبير « تردد » لوصف عـدد الدورات لكل ثانية ، لتيار متردد أو جهد متردد . ويعرف التردد على أنه عدد الدورات فى الثانية (إختصاراً د فى ث أو د/ث) . ووحدة أخرى للتردد هى الهيرتز التى تساوى دورة واحدة فى ثانية واحدة .

الكمية	الرمز	الوحـدة	الاختصار
التردد	د	هيرتز	هز

وسميت وحدة الدورة فى الثانية بالهيرتز نسبة إلى عالم الطبيعيات الألمـانى هاينريخ هيرتز Heinrich Hertz ، (من ١٨٥٧ إلى ١٨٩٤) . والهيرتز هو دورة واحدة فى الثانية ، أى أن :

$$\text{١ هيرتز} = \frac{\text{١}}{\text{ث}} \quad \text{أو} \quad \text{١ هز} = \text{١ ث}^{-1}$$

ويبين الشكل (١٧٢) الفرق بين تيارين يسريان خلال وحدة زمن مقدارها ثانية واحدة . وفى الشكل المذكور ، يبين المنحنى السميك موجة منتجة عن دورة واحدة ، لحلقة المولد فى ثانية واحدة ، بينما يبين المنحنى المرسوم بخط مستمر ، دوران الحلقة ٥ دورات فى الثانية . وفى هذه الحالة ، يكون مقدار هذا التردد ٥ هيرتز .

وفى الهندسة الكهربائية ، تستخدم ترددات مختلفة . ولذلك ، تستخدم عادة ترددات ذات قيمة مضاعفة لقيمة الوحدة الأساسية ، مثل :

١ كيلو هيرتز = ١٠٠٠ هيرتز = $١٠^{٣}$ هز
١ ميجا هيرتز = ١٠٠٠٠٠٠ هيرتز = $١٠^{٦}$ هز

وتبين القائمة التالية بعض أمثلة للترددات المستخدمة :

تيار متردد تجارى	٥٠ هز
تيار متردد لعمليات السكك الحديدية	$\frac{٢}{٣}$ ١٦ هز
النداء بدق الجرس فى هندسة الاتصالات	٢٥ هز
مرسل موجة متوسطة مثلا	١٠٥٠ هز
مرسل موجة قصيرة مثلا	٩,٥ ميجا هز
مرسل موجة تردد عالى جدا (مثلا)	٨٩,٦ ميجا هز
مرسل تليفزيون مثلا ، صوت	٦٥ ميجا هز
، صورة	٥٩ ميجا هز

وإذا وجب تحديد زمن الدورة ز لدورة ما ، فإنه يحسب من مقلوب التردد ، وعليه فان :

$$\text{الدورة} = \frac{١}{\text{التردد}}$$

$$ز = \frac{١}{د}$$

مثـــال :

ما دورة التردد المستخدم فى عمليات السكك الحديدية ؟

المعطيات : د = $\frac{٢}{٣}$ ١٦ هز

المطلوب : ز

الحـــل :

$$ز = \frac{١}{د} \text{ ، } ز = \frac{١}{١٦ \frac{٢}{٣}} = \frac{١}{١٦,٦٦}$$

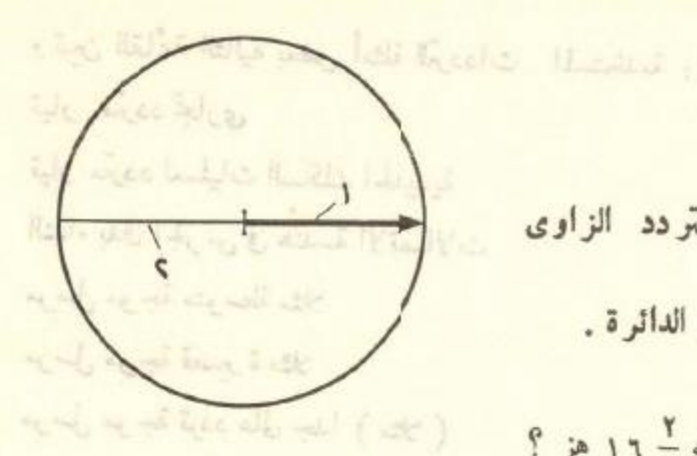
ز = ٠,٠٦ ث .

(ج) التردد الـــزاوى :

فى بعض الحالات ، يربط النص على الترددات بالسرعة الزاوية . وهذا يعرف بأنه الزاوية التى يتحرك خلالها مؤشر فى وحدة زمن ما (الشكل ١٧٣) . و إذا كان نصف قطر الدائرة المرسومة بواسطة المؤشر (أو حلقة من سلك موصل) يساوى واحدا ، يكون محيط هذه الدائرة هو ٢ ط .

والتردد الزاوى ω (أوميجا) للتيار المتردد يساوى ٢ ط مضروبا فى التردد د. وعليه فان :

$$ω = ٢ ط د$$



شكل ١٧٣ : التردد الزاوى
١ – مؤشر .
٢ – نصف قطر الدائرة .

مثـــال :

ما التردد الزاوى لتيار متردد له $16\frac{2}{3}$ هز ؟

المعطيات : د = $16\frac{2}{3}$ هز

المطلوب : التردد الزاوى ω

الحـــل :

$$\omega = 2 \text{ ط د } ، = 2 \times 3{,}14 \times \frac{50}{3}$$

$$= 104{,}7 \text{ ث}^{-1}$$

التردد الزاوى لهذا التيار ١٠٤٫٧ ث$^{-1}$

(د) طـــول الموجـــة :

تشتمل البيانات المتعلقة بالمعـــدات المستخدمة فى هندسة الاستقبال والنقل عادة على معلومات حول طول الدورة (الموجة) ، معبرا عنها بالمتر أو بوحدة مشتقة منها . ويعرف طول الموجة λ (لامدا) بأنه طول موجة معبرا عنه بوحدة الطول . وللمساعدة فى تفهم العلاقة بين طول الموجة والتردد ، نرجع إلى سرعة الامتداد – الانتشار (الفصل الثالث) . وكما قيل من مثل فى هذا المجال ، تنتشر الكهرباء بسرعة ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر/ث . ويمكن كتابة ذلك أيضا كما يلى :

$$300000 \text{ كيلومتر/ث} = 3 \times 10^{5} \text{ كيلومتر/ث} = 3 \times 10^{8} \text{ متر/ث}$$

وعندما نربط سرعة الامتداد بالتردد ، نحصل على طول الموجة وهو :

$$\text{طول الموجة} = \frac{3 \times 10^{8} \text{ متر/ث}}{\text{التردد}}$$

$$= \frac{3 \times 10^{8} \text{ متر/ث}}{\text{د}}$$

مثـــال :

المعطيات : ما طول الموجة لتيار متردد تجارى ؟

د = ٥٠ هز

ع = 3×10^{8} متر/ث

المطلوب : λ

الحـل :

$$\lambda = \frac{ع}{د} ، = \frac{٣ \times ١٠^{٨}}{٥٠} = ٦٠٠٠٠٠٠ \text{ متر}$$

= ٦٠٠٠ كيلومتر

طول الموجة لتيار متردد تجارى ٦٠٠٠ كيلومتر .

إذا عبر عن الترددات بالكيلوهيرتز (كيلو هز) أو بالميجا هيرتز (ميجا هز) ، فينصح أولا بتحويل سرعة الامتداد إلى وحدة مناسبة .

إذا عبر عن التردد بالكيلوهيرتز ، وجب التعبير عن السرعة ٣×١٠^{٥} كيلومتر/ث

إذا عبر عن التردد بالميجا هيرتز ، وجب التعبير عن السرعة ٣×١٠^{٢} ميجا متر/ث

مثـال :

ما طول الموجة لمرسل يعمل بتردد ١٠٥٠ كيلو هيرتز ؟

المعطيات : د = ١٠٥٠ كيلو هيرتز

ع = ٣×١٠^{٥} كيلو متر/ث

المطلوب :

الحـل :

$$= \frac{ع}{د}$$

$$= \frac{٣ \times ١٠^{٥}}{١٠٥٠} = ٢٨٥,٧ \text{ متر}$$

طول الموجة لهذا المرسل هو ٢٨٥,٧ متر .

مثـال :

ما طول الموجة لمرسل يعمل بتردد ٦٠ ميجا هرتز ؟

المعطيات : د = ٦٠ ميجا هيرتز

ع = ٣×١٠^{٢} ميجا متر/ث

المطلوب : λ

الحل :

$$\gamma = \frac{ع}{د}$$

$$= \frac{٣ \times ١٠^{٢}}{٦٠}$$

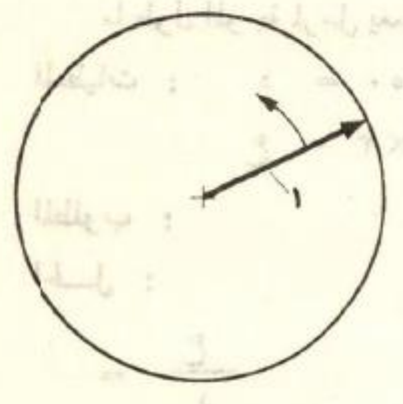
= ٥ متر

طول الموجة لهذا المرسل هو ٥ متر

(ه) قيم الذروة ، والقيم اللحظية ، للجهد المتردد والتيار المتردد :

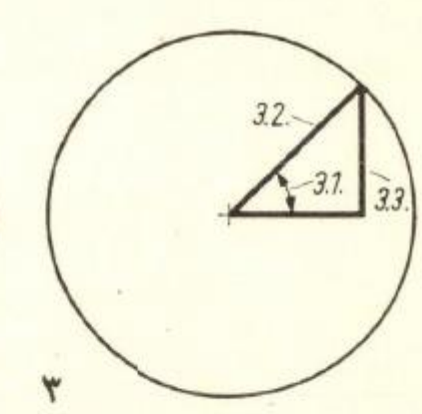
عندما أوضحنا المنحنى الجيبى للتيار المتردد (الشكل ١٧٠) ، لاحظنا قيمتين قصويين (عند وضع ٩٠°، ٢٧٠°) وقيمتى صفر (عند وضع صفر°/٣٦٠°، ١٨٠°) . وعلى كل حال ، فإن أداء مصباح متوهج موصل بنظام تغذية للتيار المتردد التجارى العادى لا يظهر أى زيادة أو إنخفاض فى شدة التيار أو الجهد . وبالمثل ، لا يدور محرك كهربائى موصل بمصدر تيار متردد ، بسرعة منخفضة أو عالية ، تبعا لدورية حث التيار .

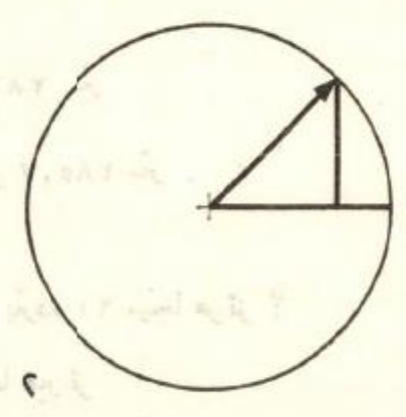
ويمكن فهم هذه الحقيقة ، على غرابتها ، بوصف خصوصيات الجهود والتيارات المترددة المميزة عن الجهود والتيارات المستمرة .

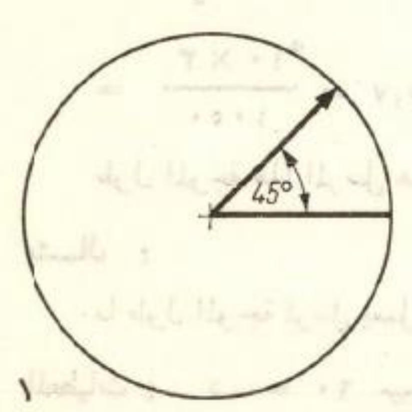


شكل ١٧٤ : تمثيل المتجه

١ – طول المتجه ل يساوى ج ذ .







شكل ١٧٥ : دالة جيب فى دائرة التيار المتردد

١ – وضع المتجه عند ٤٥°

٢ – إسقاط عمود

٣ – وصف المثلث

٣/١ زاوية ∝ : ٤٥°

٣ ٢ الوتر .

٣/٣ المقابل

تمثيـــل المتجـــه :

يبين الشكل (١٧٤) دائرة كهربائية مناظرة ، يمكن أن يدور فيها متجه فى عكس عقارب الساعة . لنفرض أن طول المتجه يساوى جهدا أقصى . تسمى هذه القيمة بقيمة الذروة ج ذ ،

تبلغ قيمة الجهد قيمة الذروة مرتين ، خلال دورة واحدة للمتجه (عند وضع ٩٠° ، ٢٧٠°) . يبين الشكل (١٧٥) وضع المتجه عند ٤٥° . عند هذا الوضع لمقطع الموصل على الممر الدائرى ؛ ينتج بالحث جزء معين من قيمة الذروة للجهد . ويمكن تحديد نيمة هذا الجزء من الشكل (١٧٥-٢) وعند رسم عمود من نقطة رأس السهم على المستوى ، نحصل على مثلث قائم الزاوية (الشكل ١٧٥ - ٣) ودالة الجيب .

$$\text{جيب } \alpha = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} \text{ للمثلث .}$$

(و) تعيين القيمة اللحظية :

يسقط عمود فى كل من المدى الموجب والمدى السالب ، بحيث نحصل على مثلث قائم الزاوية . وعلى كل ، فإنه لا يمكن تطبيق ذلك على أوضاع المتجه عند صفر° ، ٩٠°، ١٨٠°، ٢٧٠° ، ٣٦٠° .

وفى هذه الحالات لا يمكن تكوين مثلث للاستطراد فى هذا الشرح . نفرض أن قيمة الذروة للجهـــد ج ذ هى ٣١١ فلط .

يمكن حساب الجهد عند وضع ٤٥° من دالة الجيب . جيب α × الوتر . وعليه يمكن كتابة القيمة اللحظية ج = جيب α × ج ذ .

وتعطى قيمة جيب ٤٥° فى الجداول ، وهى ٠,٧٠٧ بحيث نجـــد :

ج = ٠,٧٠٧ × ٣١١ فلط ، ج = ٢٢٠ فلط وتكون القيمة اللحظية ج لجهد متردد بقيمـــة ذروة ج ذ = ٣١١ فلط ، وهى ٢٢٠ فلط عندما يكون وضع حلقة الموصل عند ٤٥° .

مثـــال :

إذا كانت قيمة الذروة لجهد متردد ٥٣٨ فلط فما القيمة اللحظية عندما يكون المتجه عند ٣٠° ؟

المعطيات : ج ذ = ٥٣٨ فلط .

جيب ٣٠° = ٠,٥

المطلوب : ج

الحـــل :

$ج = جيب ٣٠° × ج_ذ$

$= ٠,٥ \times ٥٣٨$

$= ٢٦٩$ فلط

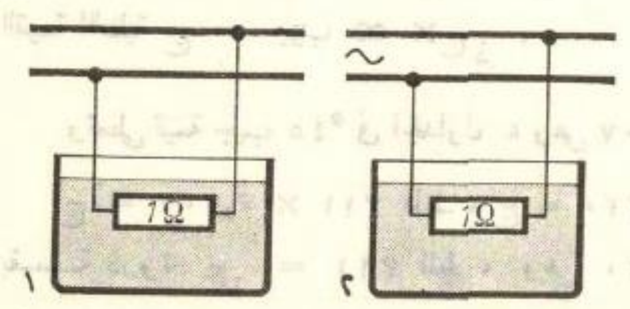
القيمة اللحظية لهذا الجهد ٢٦٩ فلط.

(ز) القيمة الفعالة للجهد المتردد والتيـــار المتردد :

يبين الشكل (١٧٦) ترتيبتين لدائرتين تساعدان فى تعيين الشغل ش الذى يبذله تيار كهربائى . فى الحالة الأولى ، يوصل مقاوم قيمته ١ Ω ، فى دائرة تيار مستمر . ولنفرض أن قيمة الذروة لهذا التيار المستمر ت = ٣ مب .

وفى الحالة الثانية ، يستخدم مصدر للجهد المتردد . يفترض أن تيارا بقيمة ذورة $ت_ذ$ = ٣ أمبير ، يبذل شغلا فى مقاومة قيمتها ١ Ω . ويمكن إيجاد الشغل الذى تبذله التيارات بواسطة أجهزة قياس الحرارة .

ويمكن بمساعدة ترتيبات دائرية مثل هذه ، وأجهزة قياس مناسبة ، إجراء اختبارات تبين أن للشغل المبذول بواسطة التيار المستمر ، قيمة أعلى اعتباريا من الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد تحت نفس الشروط المعطاة . وسيناقش سبب وجود هذا الفرق والعلاقة بين هذين الشكلين للشغل فيما بعد .



شكل ١٧٦ : هذا الشكل يساعد فى تبيان الشغل الذى يبذله التيار ش
١ – الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر .
٢ – الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد .

وفى الجزء الأول ، الفصل الثامن وجد أن شغل تيار كهربائى (فى دوائر التيار المستمر) يساوى :

$ش = ج \times ت \times ز$

وحيث أن ج = ت × م ، فإننا نحصل على

ش = ت × م × ت × ز أو

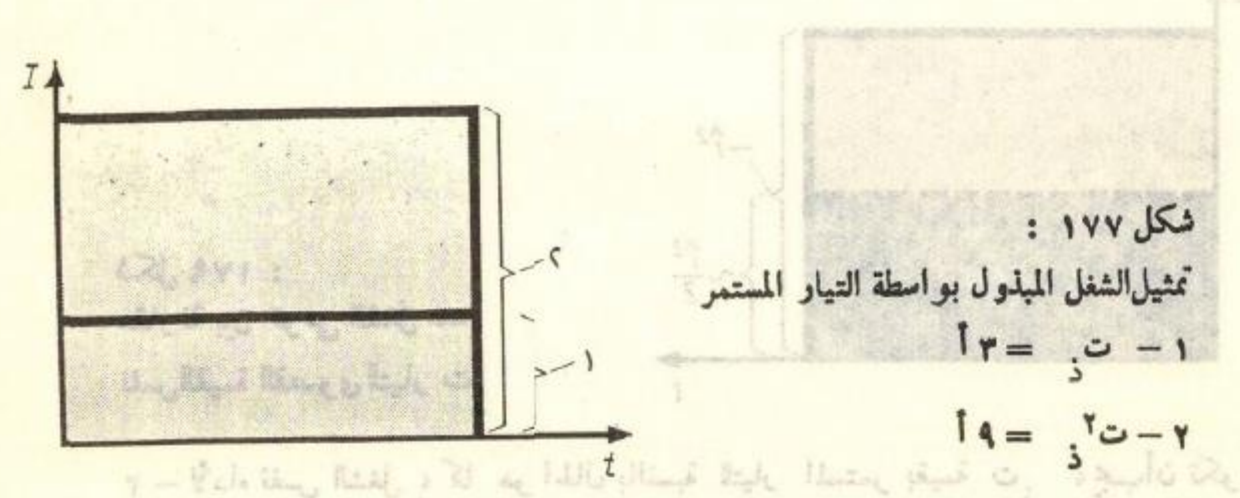
ش = $\text{ت}^{٢}$ × م × ز

فى هذا المثال ، اختيرت مقاومة م قيمتها ١ أوم ، وحيث أن العامل ١ ليس له تأثير على التطور المطرد فيمكن إهماله ، وعليه :

ش = $\text{ت}^{٢}$ × ز

ويمكن الحصول على التمثيل التخطيطى للشغل ش، المبذول بواسطة التيار المستمر، تحت نفس الشروط المعطاة بشكل مساحة توقع على محور الزمن (الشكل ١٧٧) . وبالمثل فإنه يمكن تمثيل الشغل المبذول ، بواسطة التيار المتردد ، تحت نفس الشروط المعطاة ، فى شكل مساحة توقع على محور الزمن (الشكل ١٧٨) . فى هذا المنحنى ، تكون مساحة نصف الموجة السالب أيضا أعلى محور الزمن حيث أن :

$- \text{ت}_{\text{ذ}} \times - \text{ت}_{\text{ذ}} = + \text{ت}^{٢}_{\text{ذ}}$.

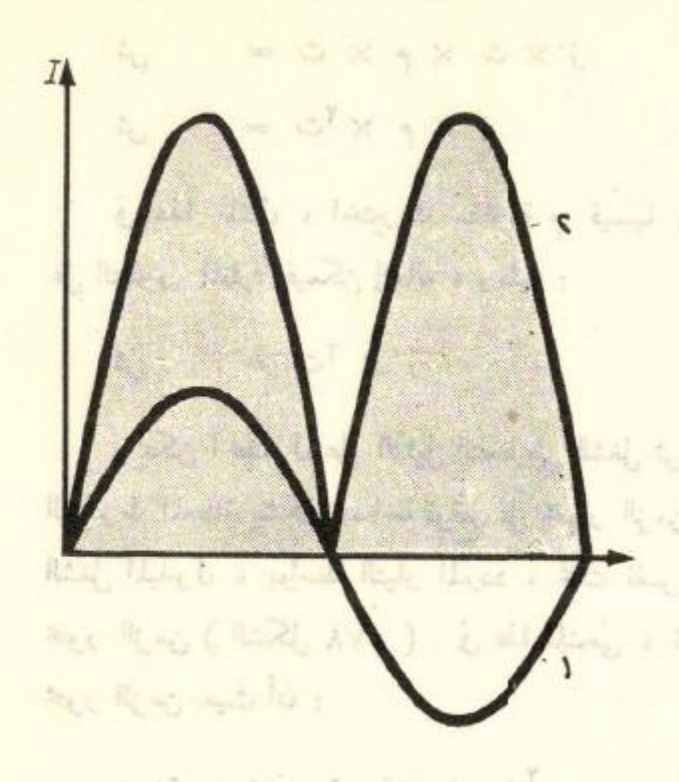


شكل ١٧٧ :
تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر
١ – $\text{ت}_{\text{ذ}}$ = ٣ أ
٢ – $\text{ت}^{٢}_{\text{ذ}}$ = ٩ أ

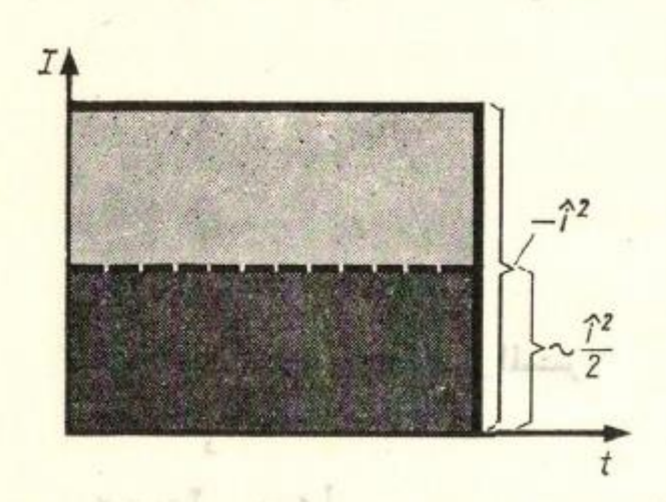
وعند تكوين مساحة مستطيلة من المساحة المحاطة بخطوط كونتور فى هذا المنحنى ، يكون من الواضح أن المساحة المستطيلة التى يحصل عليها بهذه الكيفية تكون أصغر ،بقيمة معينة ، من المساحة المستطيلة ، التى تمثل الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر (الشكل ١٧٨) . وقد بينت هاتان المساحتان فى منحنى واحد للمقاومة فى الشكل (١٧٩) .

من هذه المقارنة يمكن استنباط الخلاصات الآتية :

١ – يكون الشغل المبذول بواسطة تيار متردد هو $\frac{\text{ت}^{٢}_{\text{ذ}}}{٢}$ ،عندنفس قيمة الذروة $\text{ت}_{\text{ذ}}$



شكل ١٧٨ :
تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد
١ – منحنى $ت_ذ$ جيبى .
٢ – منحنى $ت^٢_ذ$ جيبى .



شكل ١٧٩ :
مقارنة بين نوعى الشغل عند نفس القيمة القصوى للتيار $ت_ذ$

٢ – لأداء نفس الشغل ، كما هو الحال بالنسبة للتيار المستمر بقيمة $ت_ذ$ ، يجب أن تكون قيمة التيار المتردد هى $\sqrt{٢} \times ت_ذ = ١,٤١٤ \times ت_ذ$.

٣ – يسمى التعبير $\frac{ت^٢_ذ}{٢}$ بمربع القيمة المتوسطة أو القيمة الفعالة للتيار المتردد ، ومن هذا يلى :

$$ت^٢ = \frac{ت^٢_ذ}{٢} \quad ، \quad ت = \frac{ت_ذ}{\sqrt{٢}} \quad ، \quad ت = ٠,٧٠٧ \times ت_ذ$$

٤ – بالمثل فبالنسبة للجهد المتردد نجد :

$$ج^{٢} = \frac{ج_{ذ}^{٢}}{٢} \text{ ، } ج = \frac{ج_{ذ}}{\sqrt{٢}} \text{ ، } ج = ٠{,}٧٠٧ \times ج_{ذ}$$

٥ – من هذا ، تعين قيمة الجهد وشدة التيار فى شكل العلاقة :

$$ج_{ذ} = \sqrt{٢} \times ج = ١{,}٤١٤ \times ج$$

$$ت_{ذ} = \sqrt{٢} \times ت = ١{,}٤١٤ \times ت$$

تكون القيمة الفعالة لجهد وشدة تيار جيبيين متغيرين هى ٠,٧٠٧ مضروبا فى قيمة الذروة للجهد أو شدة التيار .

بهذه التعاريف لقيمة الذروة ، والقيمة اللحظية ، والقيمة الفعالة للجهد وشدة التيار المتردد ، أهمية عملية فى بناء مولدات التيار المتردد . وعلى سبيل المثال لا الحصر فى الحياة العملية ، تنسب قيم الجهود المترددة والتيارات المترددة إلى القيم الفعالة للكميات المناظرة لها .

٣/١٢ – المقاومات الأومية ، والحثية ، والسعوية فى دائرة التيار المتردد :

(ا) المقاومات الأومية فى دائرة التيار المتردد :

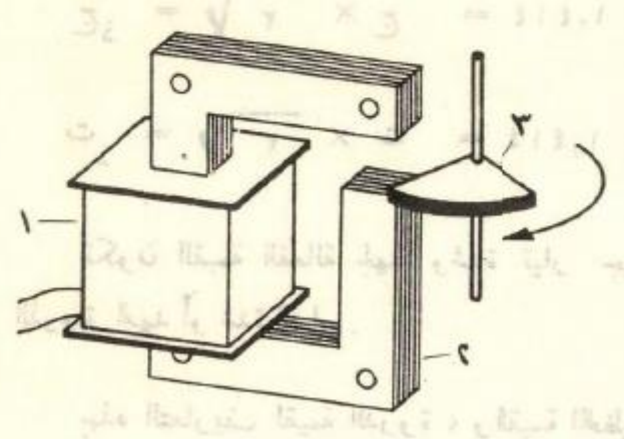
لقد وصفنا فى القسم الأول – الفصل السادس، فى مجال الحديث عن المقاومات، بضع مقاومات (مقاومات من السلك الملفوف ، مقاومات كربونية ، مقاومات متغيرة) ويتبع تصرف هذه المقاومات فى دائرة التيار المستمر قانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كان مثل هذا المقاوم ، سيتبع قانون أوم ، أيضا ، أم لا ، عندما يوصل فى دائرة تيار متردد . وكما سبق ذكره تبين أجهزة القياس الشائعة الاستخدام قيما فعالة للجهد المتردد والتيار المتردد . وإذا وصل مقاوم من النوع المبين أعلاه ، فى دائرة تيار متردد ، نجد أن تصرفه يطابق قانون أوم أيضا (الشكل ١٨٠) .

تسمى المقاومات فى دائرة التيار المتردد ، التى تتبع قانون أوم ، بالمقاومات الفعالة .

(ب) المقاومات الحثية فى دائرة التيار المتردد :

تعرف المقاومات الحثية بالمقاومات التى تحكمها قوانين الحث الذاتى (القسم الأول – الفصل العاشر) . والتعبير العام لنبيطة أو عنصر دائرة كهربائية له محاثة هو « ملف محاث »

لأن المقاومات الحثية تسمى أيضا « المحاثات » . مثل ملفات المحاثة هذه تكون مغنطيسيات كهربائية ، أو ملفات بقلب حديد أو بدونه ، أو لفيفات فى محركات ، أو مولدات كهربائية . وتشير المناقشة التالية إلى ملف كابح للتيار ، مزود بقلب حديد ، يمكن ضبطه . وهذا الملف يكون عبارة عن ملف محاثة ، لأن له محاثة . ويمكن تغير الحث المغنطيسى له بواسطة القلب الحديد . والملف الكابح عبارة عن عينة ممثلة لكل الأنواع الأخرى من ملفات المحاثة (الشكل ١٨١) .



شكل ١٨٠ : قياس الجهد وشدة التيار فى دائرة تيار متردد

١ – مقاومة أومية . ٢ – فلطمتر . ٣ – أميتر .

شكل ١٨١ : ملف متغير كابح للتيار

١ – ملف .

٢ – قلب حديد .

٣ – نبيطة ضبط (لتغيير ثغرة الهواء) .

(ج) تصرف ملفات المحاثة فى دائرة التيار المستمر :

يبين الشكل ١٨٢ ترتيبة لدائرة تشتمل على مصباح متوهج ، وملف كابح للتيار ، موصلين على التوالى . توصل هذه الدائرة بمصدر جهد مستمر . يفترض أن المقاومة الأومية لعنصرى الدائرة معروفة . عند تشغيل ترتيبة الدائرة هذه ، يفترض أن يكون الجهد وشدة التيار بحيث يضئ المصباح المتوهج . عندما تنخفض شدة التيار والجهد عبر عنصرى الدائرة نجد أن عناصر الدائرة تتصرف طبقا لقانون أوم . وفى هذه الحالة ، يتصرف أيضا الملف الكابح للتيار طبقا لقانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كانت قيمة الحث تبذل تأثيرا خاصا على تصرف الملف الكابح للتيار فى دائرة التيار المستمر . عندما يتغير الحث المغنطيسى للملف الكابح للتيار ، فى دائرة كهربائية مقفلة ، أى عندما تخفض أو تزاد ثغرة الهواء ، بواسطة قطعة الحديد المتحركة ، يستمر المصباح المتوهج فى الإضاءة دون تغير .

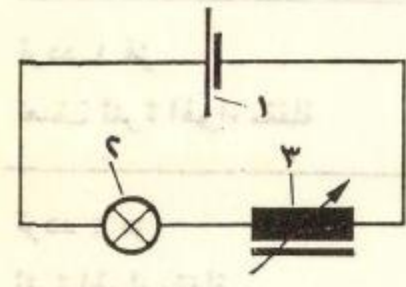
إذا احتوت دائرة تيار مستمر على ملف محاثة ، فتكون مقاومته الأومية فقط هى فعالة .

(د) تصرف ملفات المحاثة فى دائرة التيـــار المتردد :

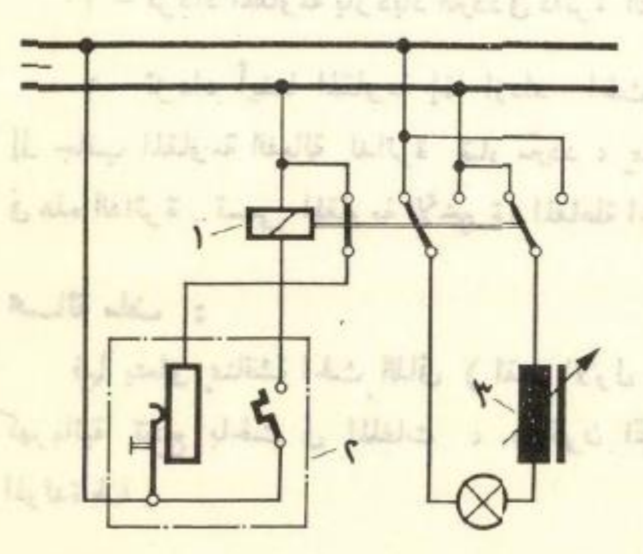
فيما يلى وصف لترتيبة اختبار ، يمكن بمساعدتها ملاحظة تصرف ملفات المحاثة فى دائرة التيار المتردد .

وفى هذا المجال ، يجب ملاحظة أنه يمكن تشغيل جهاز كهربائى موصل فى دائرة تيار مستمر ، بواسطة مفتاح كهربائى يسمى مغير القطب ، بكيفية ما بحيث يتغير اتجاه التيار المـار فى الجهاز دوريا .

يبين الشكل (١٨٣) ترتيبة دائرة تحتوى على مفتاح كهربائى حرارى ، ومتابع ، وملف كابح للتيار المتغير ومصباح متوهج . ويشبه أساس تصميم المفتاح الكهربائى الحرارى التصميم الخاص بوحدة وماضة لمبين الاتجاه بالضوء المستخدم فى السيارات . ويشتمل المفتاح الكهربائى على مقاوم تسخين متغير ، مصمم لضبط التردد فى نطاق المدى من ١ إلى ٢ هز . وعندما تغذى ترتيبة الدائرة هذه ، يسخن مقاوم التسخين لمفتاح الكهربائى الحرارى . وتبعا لذلك يقفل المفتاح ، ويشغل المتابع . فى هذه اللحظة ، يعكس اتجاه التيار عبر المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار المتغير ، وفى نفس الوقت تقطع التوصيلة إلى المفتاح الكهربائى الحرارى ويشغل المتابع .



شكل ١٨٢ : تصرف ملف كابح للتيار فى دائرة تيار مستمر
١ – مصدر للجهد .
٢ – مصباح متوهج .
٣ – ملف متغير كابح للتيار .



شكل ١٨٣ :
ترتيبة تبين تصرف ملفات المحاثة فى دوائر التيار المتردد
١ – متابع .
٢ – مفتاح كهربائى حرارى .
٣ – مصباح متوهج وملف متغير كابح للتيار .

تعاد نفس الدورة ، عندما يشغل المتابع تقفل ملامسات المفتاح الكهربائى الحرارى ، ويغذى المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار بتيار ذى اتجاه عكسى. يعطى الجدول التالى شروط الاختبار التى تشغل تحتها ترتيبة الدائرة هذه وكذلك النتائج التى يحصل عليها :

شروط الاختبار	النتيجة
تردد ١ هز ثغرة الهواء حرة	يشع المصباح ضوءا خافتا ، بمقارنته بالضوء الذى يشعه المصباح عند تشغيله بالتيار المستمر .
تردد ١,٥ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه فى الحالة السابقة .
تردد ٢ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١,٥ هز
تردد ١ هز نصف ثغرة الهواء مقفلة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ، ثغرة الهواء حرة .
تردد ١ هز ثغرة الهواء مقفلة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ونصف ، ثغرة الهواء مقفلة .

ومن هذا يستخلص الآتى :

١ – تزداد المقاومة بازدياد التردد فى دائرة التيار المتردد التى تحوى ملفات محاثة .

٢ – تزداد أيضا المقاومة إذا ازداد الحث المغنطيسى لملف فى دائرة تيار متردد . إلى جانب المقاومة الفعالة لدائرة تيار متردد ، يمكن حدوث مقاومة ناتجة عن ملفات المحاثة فى هذه الدائرة . تسمى المقاومة الأخيرة « المفاعلة الحثية » .

محـــاثة ملف :

فيما يتعلق بمناقشة الحث الذاتى (القسم الأول – الفصل العاشر) ، يمكننا ملاحظة أن طاقة كهربائية تنتج بالحث فى الملفات ، ويكون اتجاهها الفعال عكس الاتجاه الفعال للطاقة المولدة لها .

وإذا تغيرت شدة التيار فى ملف بمقدار أمبير واحد ، فى دقيقة واحدة ، وإذا أنتج بالحث فى نفس الوقت جهد قيمته فلط واحد فى هذا الملف ، يكون الملف محاثة قيمتها

$$\frac{\text{١ فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{و ب}}{\text{مب}}$$

ووحدة المحاثة $\frac{\text{١ و ب}}{\text{مب}}$ تسمى هنرى نسبة إلى عالم الطبيعيات ج . هنرى (J. Henry) (١٧٩٧ – ١٨٧٨) .

$$\text{١ هنرى} = ١ \frac{\text{و ب}}{\text{مب}}$$

ورمز المحادثة هو ح

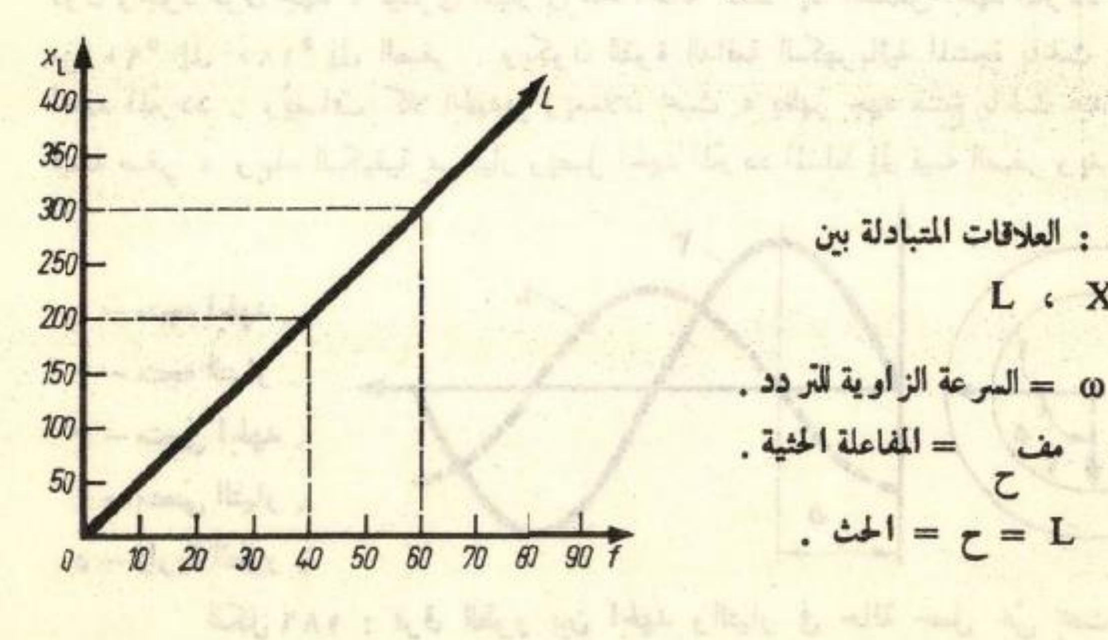
المفاعلة الحثية وتعيينها : يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة الحثية مف للملف ماهى حاصل ضرب التردد الزاوى ω فى المحاثة ح ، وعليه فإن :

$$\text{مف}_{\text{ح}} = \omega \times \text{ح}$$

ونحصل على وحدة المفاعلة الحثية مف$_{\text{ح}}$ من

$$\frac{١}{\text{ث}} \times \frac{\text{و ب}}{\text{مب}} = \frac{١}{\text{ث}} \times \frac{\text{فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{فل}}{\text{مب}} = \Omega$$

ويبين الاعتماد التبادلى بين التردد الزاوى ، والمحاثة ، والمفاعلة الحثية بالشكل (١٨٤) . ومحاثة الملف المستخدمة فى هذا الاختبار هى ٥ هنرى .



شكل ١٨٤ : العلاقات المتبادلة بين

ω ، X_L ، L

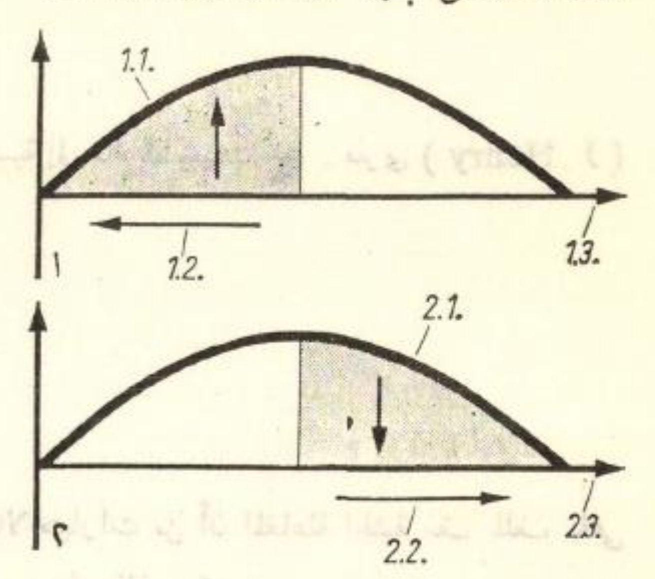
حيث ω = السرعة الزاوية للتردد .

X_L = مف$_{\text{ح}}$ = المفاعلة الحثية .

L = ح = الحث .

المحـــاثة والعلاقة المؤقتة بين الجهد والتيـــار :

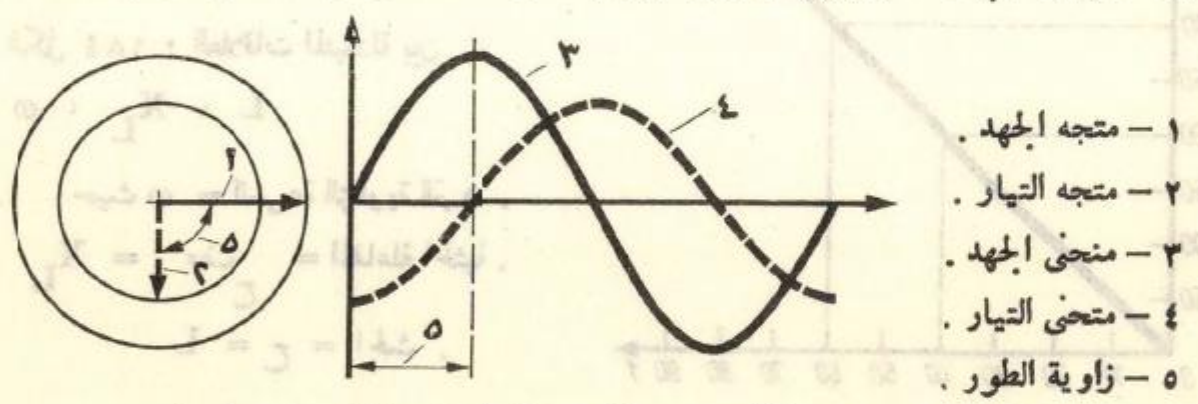
لقد نوقش تصرف ملف فى دائرة تيار مستمر على أساس الحث الذاتى ، ويفسر هنا تأثير الحث الذاتى على الجهد المتردد والتيار المتردد :



شكل ١٨٥ :
الجهد المنتج بالحث فى ملف محاثة خلال نصف دورة
(١) ١/١ – طور المجال النامى .
١/٢ – اتجاه الجهد المنتج بالحث .
١/٣ – اتجاه التيار المتردد .
(٢) ٢/١ – طور المجال المتلاشى .
٢/٢ – اتجاه الجهد المنتج بالحث .
٢/٣ – اتجاه التيار المتردد .

يبين الشكل (١٨٥ – ١) تكوين المجال المغنطيسى لملف محاثة ، واتجاه القوى الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، بينما يبين الشكل (١٨٥ – ٢) خبو هذا المجال ، واتجـاه القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، خلال نصف موجة . وإذا ضمت لدائرة كهربائية ملفات محاثة خارجية (وهذا لا يحدث فى الحياة العملية) ، فيمكن بسهولة شرح الظاهرة التى تحدث فى دائرة تيار متردد، والمبينة فى الشكل (١٨٥)، ولا يمكن زيادة جهد متردد مسلط للملف محاثة بين الوضعين صفر° ، ٩٠° إلى درجة كما هو الحال إذا حملت الدائرة بمقاومات فعالة .

ونتيجة للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث التى يكون اتجاهها ، عكس اتجاه الجهـد المتردد ، يكون الأخير متعادلا ولو جزئيا . وحيث أنه لا يمكن أن يسرى تيار كهربائى ، دون وجود فرق جهد ، فيسرى التيار فى هذه الحالة فقط إذا انخفض الجهد المتردد فى الوضعين من ٩٠° إلى ١٨٠° إلى الصفر . ويكون للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث نفس اتجـاه الجهد المتردد . ويضاف كلا الجهدين ويعملان بحيث ، يظهر جهد منتج بالحث عند جهد متردد قيمته صفر ، وبهذه الكيفية يمر تيار ويصل الجهد المتردد المسلط إلى قيمة الصفر ويغـير اتجاهه .



١ – متجه الجهد .
٢ – متجه التيار .
٣ – منحنى الجهد .
٤ – منحنى التيار .
٥ – زاوية الطور .

شكل ١٨٦ : فرق الطور بين الجهد والتيار فى حالة حمل حثى بحت

يسمى الفرق المؤقت بين الجهد والتيار « إزاحة الطور » أو « فرق الطور » (الشكل ١٨٦) . ويعبر عن قيمة فرق الطور بزاوية الطور ح .

إذا كانت هناك ملفات محاثة فى دائرة تيار متردد : يحدث فرق مؤقت بين ظهور الجهد والتيار . ويقال عن التيار الذى يظهر متأخرا بأنه متخلف فى الطور .

(ه) المفاعلات السعوية فى دائرة التيار المتردد :

تصرف المواسعات فى دائرة التيـــار المستمر :

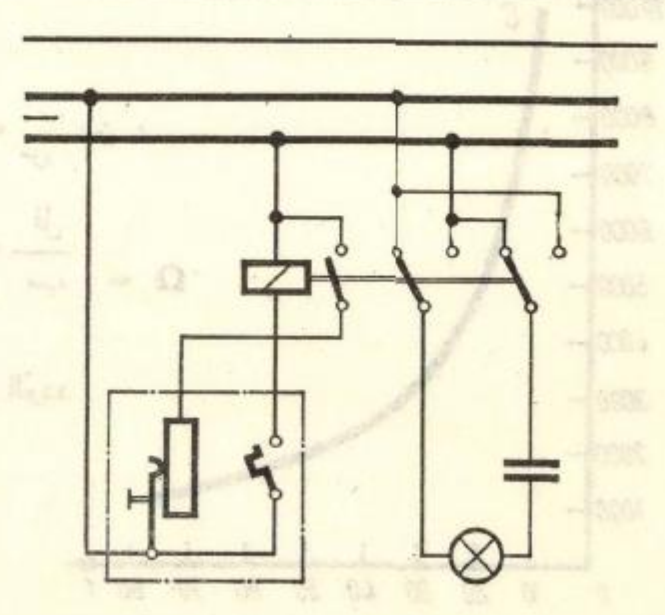
تسمى النبيطة الكهربائية التى لها مواسعة « المواسع » . وأظهرت مناقشة المجالات الكهربائية المتجانسة أن المواسع الذى يوصل لدائرة تيار مستمر يشحن ، وأنه لا يسمح بمرور تيار خلال مواسع مشحون . وعندما يعتبر مواسع كأنه مقاوم تكون للمقاومة م للمواسعة ، فى دائرة التيار المستمر ، قيمة لا نهائية (م = ∞) .

للمواسعات فى دائرة التيار المستمر مقاومة لا نهائية القيمة .

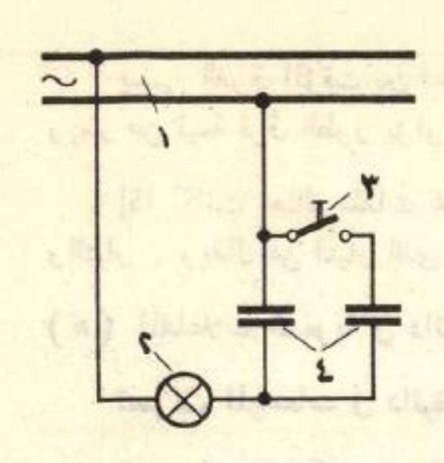
تصرف المواسعات فى دائرة التيار المتردد :

لبحث تصرف مواسع فى دائرة تيار متردد (الشكل ١٨٧) تستخدم نفس الترتيبة المبينة فى الشكل (١٨٣) . ويستخدم بدلا من الملف الكابح للتيار مواسع . وكما فى اختبار المحاثات ، تبين شروط الاختبار والنتائج التى يحصل عليها فى حالة المواسعات فى دائرة التيار المتردد على شكل جدول :

شروط الاختبـار	النتيجـة
تردد ١ هز	لا يضىء المصباح
تردد ١,٥ هز	يشع المصباح ضوءا خافتا
تردد ٢ هز	يشع المصباح ضوءا أكثر



شكل ١٨٧ :
ترتيبة تبين تصرف المواسعات فى دوائر التيار المتردد



شكل ١٨٨ : ترتيبة تبين تصرف المواسعات ذات المواسعات المنخفضة والعالية فى دوائر التيار المتردد

١ – تردد المصدر = ٥٠ هز ٣ – مفتاح كهربائى .

٢ – مصباح متوهج . ٤ – مواسعات .

يبين الشكل (١٨٨) ترتيبة دائرة يوصل فيها مواسع آخر على التوازى ، مع مواسع موصل على التوالى مع مصباح ، عن طريق مفتاح كهربائى . لنفرض أن التردد هو ٥٠ هز ، ويكون للمواسع المختار قيمة ، بحيث يشع عندها المصباح المتوهج ضوءا خافتا عند فتح المصباح الكهربائى . وعند تشغيل المفتاح الكهربائى ، لتوصيل المواسع الثانى بالمواسع الأول على التوازى ، تتضاعف القدرة الضوئية للمصباح . ومن الواضح أن المقاومة تنخفض بازدياد المواسعة ، ومن هذا :

١ – تنخفض المقاومة بازدياد التردد ، فى دائرة تيار متردد لها مواسعات .

٢ – تنخفض المقاومة بازدياد المواسعة ، فى دائرة تيار متردد .

تسمى المقاومة الناتجة عن المواسعات فى دائرة تيار متردد بالمفاعلة السعوية .

المفاعلة السعوية وتعيينها :

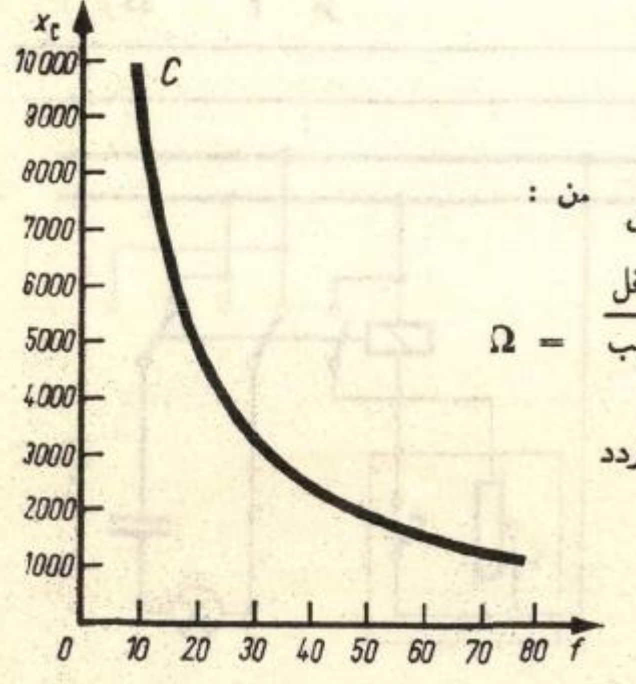
يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة السعوية مف$_{س}$ هى مقلوب حاصل ضرب التردد الزاوى فى المواسعة س ، وعليه فإن :

$$مف_{س} = \frac{1}{\omega \times س}$$

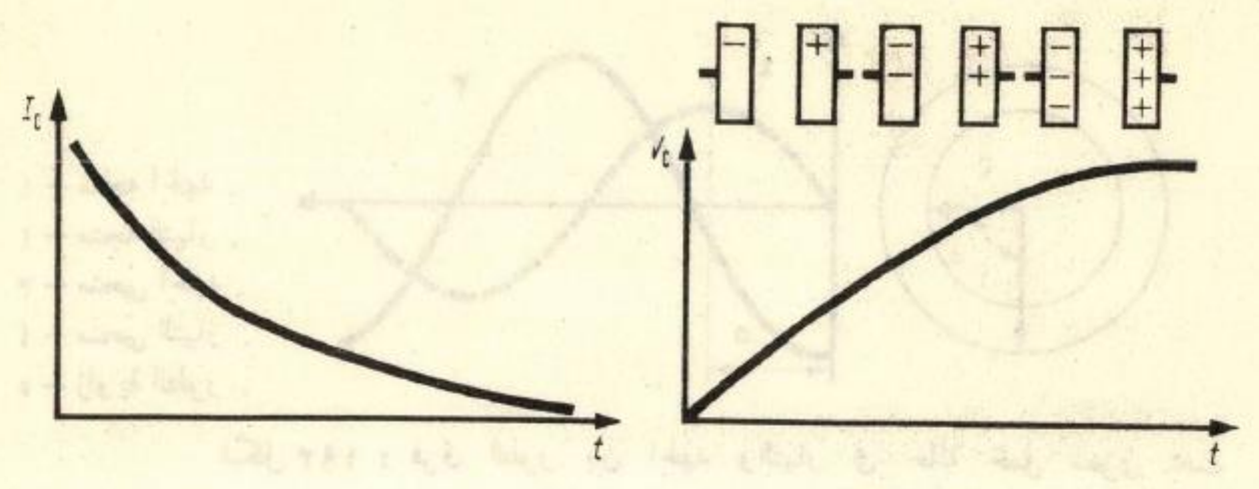
ونحصل على وحدة المفاعلة السعوية مف$_{س}$ من :

$$\frac{1}{\frac{1}{ث} \times \frac{مب\ ث}{فل}} = \frac{ت}{\frac{مب\ ت}{فل}} = \frac{فل}{مب} = \Omega$$

ويبين الشكل(١٨٩)الاعتماد التبادلى بين التردد الزاوى ، والمواسعة ،والمفاعلة السعوية .



شكل ١٨٩ : العلاقة بين س ، مف$_{س}$



شكل ١٩٠ : توليد الجهد خلال شحن مواسع في مرحلة $\frac{1}{4}$ دورة

شكل ١٩١ : توليد التيار خلال شحن مواسع في مرحلة $\frac{1}{4}$ دورة

المواسعة والعلاقة المؤقتة بين الجهد والتيــار :

تسبب المواسعات أيضاً ، كما هي الحال في المحاثات ، فرق طور بين الجهد والتيار ، في دائرة التيار المتردد .

يبين الشكل (١٩٠) منحنى الجهد أثناء شحن مواسع خلال $\frac{1}{4}$ دورة . وكمـا نعرف ، يسمح بمرور تيار ، فقط ، حتى يتم شحن المواسع ، وهذا يعني أن التيار ينخفض من قيمة مبدئية إلى قيمة الصفر (الشكل ١٩١) .

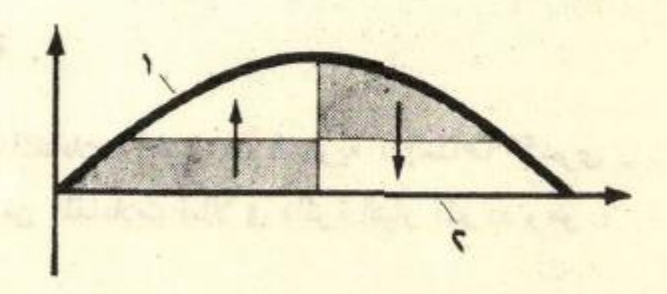
وكما هو الحال في المحاثات ، حيث تتكون المجالات المغنطيسية وتخبو ، تتكون المجالات الكهربائية للمواسعات وتخبو ، خلال مرحلة نصف موجة (الشكل ١٩٢) .

عند إدماج مواسعات خارجية في دائرة كهربائية (وهذا لا يحدث في الحيـاة العملية عادة) يمكن تمثيل حدوث الجهد والتيار بالنسبة للزمن بطريقة بسيطة (الشكل ١٩٣) .

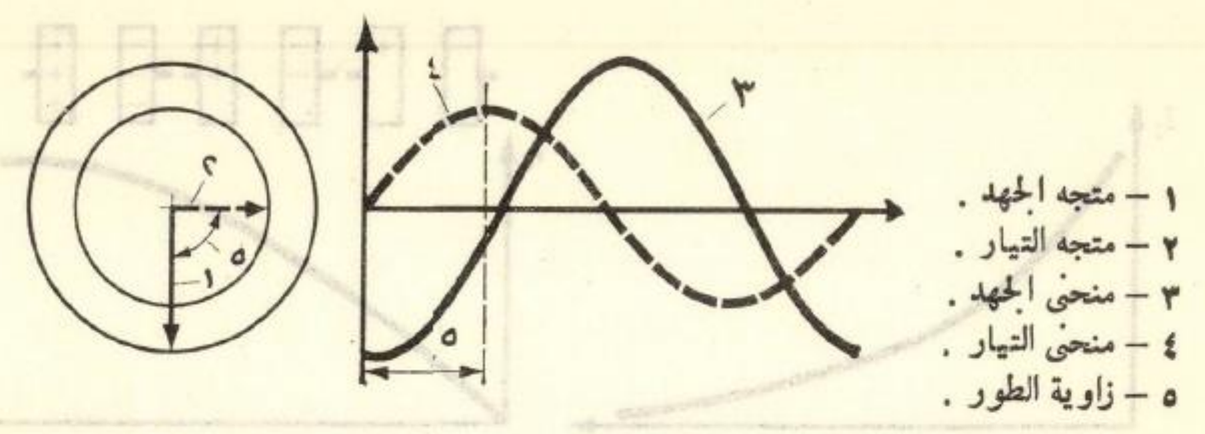
عند إدماج مواسعات في دائرة تيار متردد ، يظهر الجهد والتيار في أوقات مختلفة ، ويكون التيار متقدما زمنيا .

(و) التطبيق العام لقانون أوم على دائرة تيـار متردد :

يبين ما سبق ذكره ، فيما يختص بدائرة التيار المتردد ، أن المقاومات الفعالة ، والمفاعلات الحثية ، والمفاعلات السعوية ، يمكن أن تحدث في هذه الدائرة .



شكل ١٩٢ : تكوين وخبو مجال كهربائي خلال نصف موجة .
١ – تكوين مجال كهربائي .
٢ – خبو مجال كهربائي .



شكل ١٩٢ : فرق الطور بين الجهد والتيار فى حالة حمل سعوى بحت

ولا تحدث المقاومات الفعالة أى تأثير على فرق الطور بين الجهد والتيار .

والمعاوقة مع ، لدائرة تيار متردد ، تحوى مقاومات فعالة ، ومفاعلات حثية ، والتى تنتج من القيم الفعالة للجهد المتردد والتيار المتردد ، والتى تخالف المقاومة م ، تعطى بالعلاقة :

$$مع = \sqrt{م^{2} + مف_{ح}^{2}} = \sqrt{م^{2} + (\omega \times ح)^{2}}$$

حيث مع = المعاوقة .

م = المقاومة

$مف_{ح}$ = المفاعلة الحثية

ω = التردد الزاوى

ح = المحاثة

وإذا أدمجت مقاومات فعالة ومفاعلات سعوية ، فى دائرة تيار متردد ، فتعطى المعاوقة بالعلاقة :

$$مع = \sqrt{م^{2} + مف_{س}^{2}} = \sqrt{م^{2} + \left(\frac{1}{\omega \times س}\right)^{2}}$$

حيث : $مف_{س}$ = المفاعلة السعوية .

س = المواسعة .

وتعاكس فروق الطور الناتجة ، بواسطة المفاعلات الحثية ، والسعوية ، إحداهما الأخرى . ولهذا السبب ، يصبح الفرق بين كلا النوعين من المفاعلات فعالا فى دائرة التيار المتردد وهو :

$$مع = \sqrt{م^2 + \left(ω \times ح - \frac{1}{ω \times س} \right)^2}$$

$$= \sqrt{م^2 + \left(مف_ح - مف_س \right)^2}$$

وإذا عبر عن الفرق ($مف_ح - مف_س$) بالمفاعلة مف

ينتج أن :

$$مع = \sqrt{م^2 + مف^2}$$

ومن هذا ينتج أنه يمكن تطبيق قانون أوم على دائرة تيار متردد فى الشكل العام .

$$ت = \frac{ج}{مع}$$

$$ت = \frac{ج}{\sqrt{م^2 + \left(ω \times مف - \frac{1}{ω \times س} \right)^2}}$$

١٢/٤ – الشغل الكهربائى ، والقدرة الكهربائية للتيار المردد :

إذا كان هناك تطابق بين طور جهد وطور تيار ، فى دائرة تيار متردد ، نحصل على قدرة ظاهرية من حاصل ضرب القيم الفعالة للجهد والتيار :

$$قد_ظ = ج_ف \times ت_ف .$$

حيث يرمز الحرف ظ للقيمة الظاهرية ، ويرمز الحرف ف للقيمة الفعالة .

وبالمثل ، بالنسبة للشغل الظاهرى ، نجد أن :

$$ش_ظ = قد_ظ \times ز = ج_ف \times ت_ف \times ز$$

وعلى كل ، فإن القدرة الحقيقية لدائرة تيار متردد ، تعين بواسطة فرق الطور ، الحادث عن المفاعلات الحثية والسعوية .

وتسمى هذه القدرة « القدرة الحقيقية » أو « القدرة الفعالة » $قد_ف$ للتيار المتردد .

ويفسر ذلك بمساعدة الشكل (١٩٤) . وتكون الزاوية بين طور الجهد وطور التيار فى منحنى العلاقة بينهما : مساوية ٤٥° . وبضرب القيم اللحظية للجهد والتيار ، يمكن تكوين مساحات كما هو مبين فى الشكل (١٧٩) . ونجد على كل ، أن هذه المساحات موجودة فى المدى السالب ، فهى تحدث فى هذه المقاطع ، التى لا يظهر فيهـا الجهد والتيار معاً فى المدى السالب ، أو فى المدى

الموجب (+ × − = − ، − × − = + × − = −) ويجب طرح هذه المساحات السالبة من المساحات الموجبة . وبتعبير آخر ، يقترب متوسط القدرة الفعالة قرب محور الزمن ، كلما كان فرق الطور كبيراً .

ويمكن تعيين القدرة الفعالة فى دائرة تيار متردد بواسطة جيب تمام زاوية الطور ، ويسمى التعبير جتا Φ « عامل القدرة » للتيار المتردد . وتعطى القدرة الفعالة بالصيغة التالية :

$$قد_{ف} = قد_{ظ} \times جتا\ \Phi$$

$$= ج_{ف} \times ت_{ف} \times جتا\ \Phi$$

وبالتالى ، يكون الشغل الفعال للتيار المتردد :

$$ش = قد_{ظ} \times ز$$

$$= ج_{ف} \times ت_{ف} \times جتا\ \Phi \times ز$$

شكل ١٩٤ : القدرة الفعالة للتيار المتردد عند فرق طور ٤٥°
١ – منحنى الجهد .
٢ – منحنى التيار .
٣ – مساحة القدرة فى المدى الموجب .
٤ – مساحة القدرة فى المدى السالب .
٥ – القيمة المتوسطة للقدرة عند Φ = ٤٥° .

مثـــال :

سلط جهد متردد قيمته ٣٨٠ فلط ، على محرك كهربائى ، وكان دخل التيار ١,٥ أمبير ، وعامل القدرة ٠,٨٠ . فما القدرة الظاهرية ، والقدرة الفعالة لهذا المحرك الكهربائى ؟

المعطيات : ج = ٣٨٠ فلط .

ت = ١,٥ أمبير .

جتا Φ = ٠,٨٠

المطلوب : $قد_{ظ}$ ، $قد_{ف}$

الحـــل :

$$قد_{ظ} = ج_{ف} \times ت_{ف}$$

= ٣٨٠ × ١,٥ = ٥٧٠ واط

لتمييز القدرة الظاهرية عن القدرات الأخرى ، يستخدم التعبير فل . مب (فلط – أمبير) بدلا من التعبير واط ثدف = جف × تف × جتا Φ

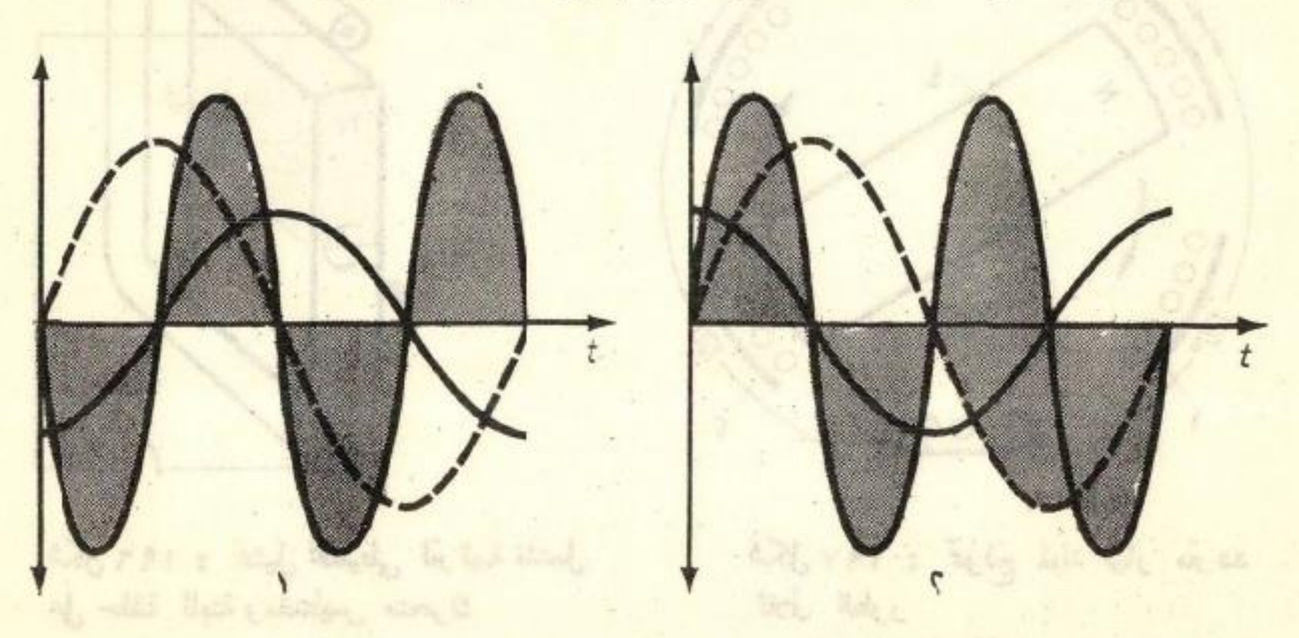
= ٣٨٠ × ١,٥ × ٠,٨ = ٤٥٦ واط

الأهمية العملية لعامل القـــدرة :

يمكن التحقق بواسطة الدالات المثلثية من أن زاوية الطور تصبح – ٩٠° أو ٩٠° فى الدائرة الكهربائية ذات الأحمال السعوية البحتة ، والحثية البحتة (الشكل ١٩٥) .

ويبين هذان المنحنيان للقدرة ، أنه ليس هناك قدرة فعالة فى هاتين الحالتين . ولقد سبق أن قيل إن هاتين الحالتين لاتحدثان عملياً . ويمكن أن يكون لعامل القدرة أى قيمة بين صفر ، ١ فى الحالتين الأخيرتين ، كان عامل القدرة صفراً ، بينما يكون عامل القدرة ١ فى الدائرة ذات الحمل الأومى البحت .

وفى الحياة العملية ، تبذل محطات القوى كل المحاولات الممكنة لضمان عامل قدرة تكون قيمته أقرب إلى الواحد الصحيح ما أمكن ، حيث أن القدرة الظاهرية المولدة تكون أكبر كلما صغر عامل القدرة ، ويمكن تحسين عامل القدرة لتركيبة كهربائية بواسطة تدابير مناسبة .



شكل ١٩٥ : فرق الطور لأحمال سعوية بحتة وحثية بحتة

١ – منحنى القدرة بحمل حثى بحت .

٢ – منحنى القدرة بحمل سعوى بحت .

فمثلا ، بإدخال مواسعات إضافية ذات مواسعات عالية ، إذا كان الحمل الحثى عاليا للغاية أو بواسطة الاستخدام الاقتصادى للمحركات الكهربائية و المحولات .

٥/١٢ – التيــــار المتردد الثلاثى الطــــور :

(أ) تمثيل التيــــار المتردد الثلاثى الطــــور :

بنيت اعتباراتنا عن التيار المتردد على أساس النموذج البسيط لمولد تيار متردد(انظر الشكل١٦٧) .

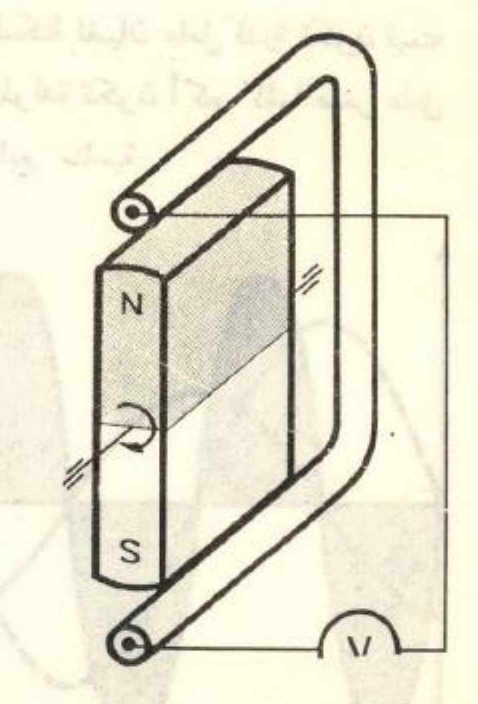
ولقد بينت تفسيرات الحث المغنطيسى أنه ليس هناك اختلاف بين تحريك الموصل أو تحريك المغنطيس لإحداث الحث . ويبين الشكل (١٩٦) التمثيل التخطيطى لترتيبة لتوليد تيار متردد بدوران مغنطيس بينما يكون الموصل ثابتا .

التيار المتردد الأحــــادى الطــــور :

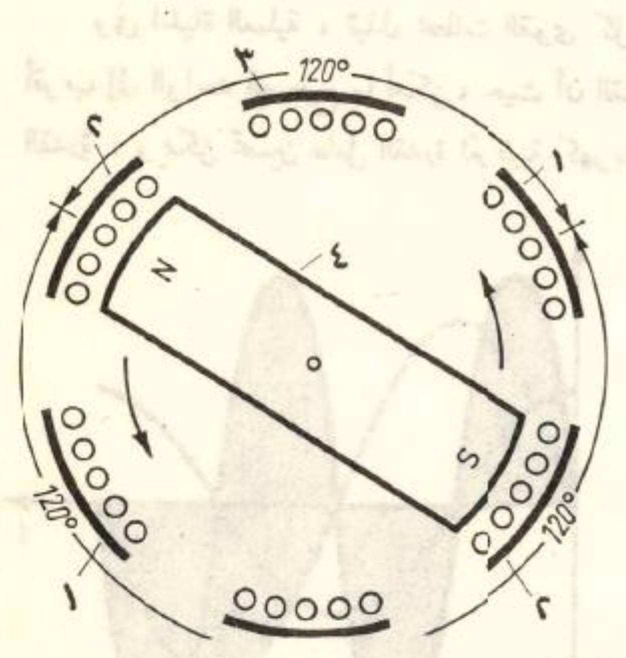
تطور التيار المتردد الأحادى الطور الذى تولد فى بداية الكهربة ، والذى كان موضوع مناقشاتنا السابقة إلى التيار المتردد الثلاثى الطور . وبالشكل(١٩٧) نموذج لمولد تيارمتردد ثلاثىالطور .

ولهذا المولد ملامح مميزة ، حيث أن لفيفاته الثلاثة موضوعة بحيث يكون بينها تباعد قيمته ١٢٠° .

يبين الشكل (١٩٨) التمثيل التخطيطى لترتيبة لإحدى هذه اللفيفات .

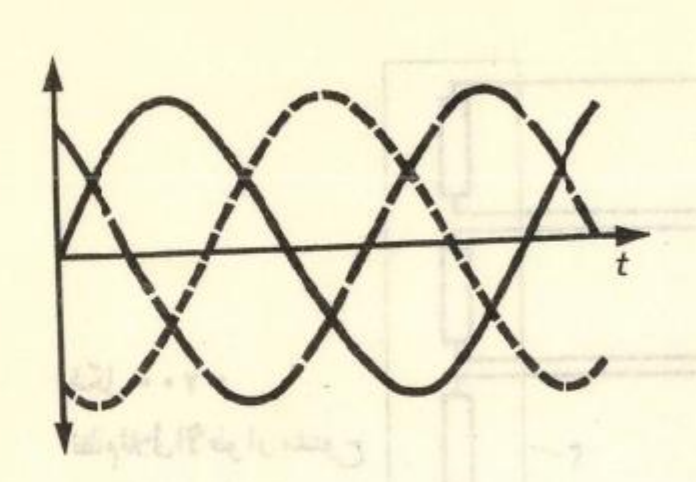


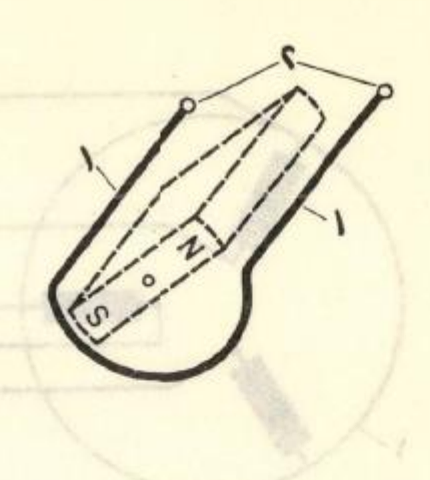
شكل ١٩٦ : تمثيل تخطيطى لترتيبة تشتمل على حلقة ثابتة ومغنطيس متحرك



شكل ١٩٧ : نموذج لمولد تيار متردد ثلاثى الطور

١ – لفيفة I (نهايات ش ، س) .
٢ – لفيفة II (نهايات ض ، ص) .
٣ – لفيفة III (نهايات غ ، ع) .
٤ – مغنطيس دوار .





شكل ١٩٩ : التيار المتردد الثلاثى الأطوار

شكل ١٩٨ : وضع اللفيفة

١ – أجزاء الموصل الفعالة لحث المغنطيسى الكهربائى .

٢ – التوصيلات (مثل س ، ش) .

عندما يدور المغنطيس فى مثل هذا المولد ، تنتج جهود مترددة ، تكون بينها زاوية طور ١٢٠° ، ويبين الشكل (١٩٩) ثلاث منحنيات لجهد متردد جيبى بينها فرق طور مقداره ١٢٠° .

وعند تمثيل لفيفات مولد تيار متردد ثلاثى الأطوار بفاعلات حثية، وتمثيل الحمل بمقاومات أومية ، نحصل على نظام مفتوح ثلاثى الأطوار (الشكل ٢٠٠) .

ويعتمد التردد الذى يمر به الجهد المتردد والتيار المتردد ، خلال هذا النظام الثلاثى الأطوار ، على عدد أزواج الأقطاب ، أو سرعة الدوران للمغنطيس الدوار . وبالشكل (١٩٧) نموذج لمولد مزود بزوج واحد من الأقطاب (مغنطيس واحد بقطب جنوبى واحد وبقطب شمالى واحد) .

وعليه ، يكون عدد أزواج الأقطاب = ١

وإذا كان التردد ٥٠ د/ث ، تكون سرعة الدوران :

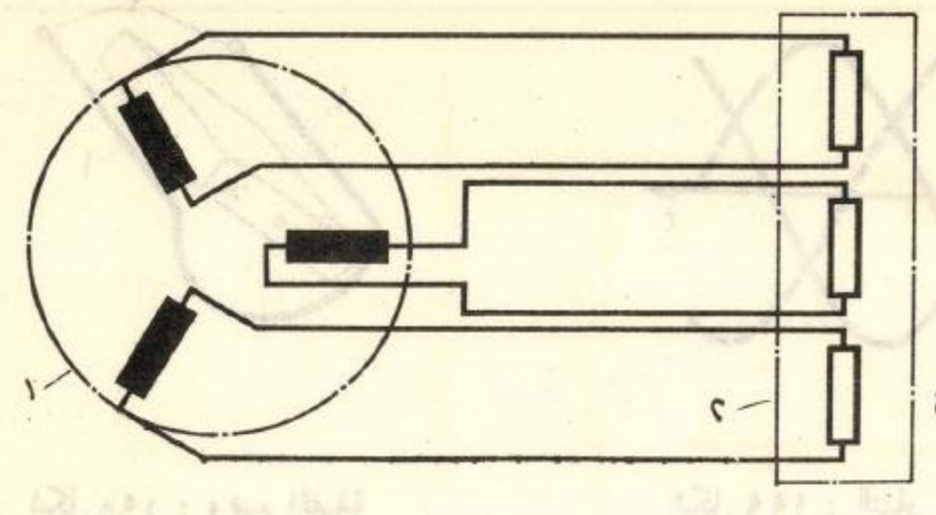
$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times ٦٠}{\text{عدد الأقطاب}}$$

$$= \frac{٥٠ \times ٦٠}{١} \times \frac{١}{\text{دقيقة}} = ٣٠٠٠ \text{ دورة فى الدقيقة}$$

يدور العضو الدوار بسرعة ٣٠٠٠ دورة فى الدقيقة لتوليد تردد قيمته ٥٠ د/ث .

مثـــال :

أوجد سرعة الدوران لمولد رباعى الأقطاب، مصمم لتوليد تيار ثلاثى الأطوار بتردد $١٦\frac{٢}{٣}$ د/ث .



شكل ٢٠٠ :
نظام ثلاثى الأطوار مفتوح
١ – لفيفات المولد .
٢ – حمل على هيئة مقاومات أومية .

المعطيات : عدد أزواج الأقطاب = ٤

التردد $= ١٦\frac{٢}{٤}$ د/ث

المطلوب : سرعة الدوران

الحـــل :

$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times ٦٠}{\text{عدد أزواج الأقطاب}}$$

$$= \frac{١٦\frac{٢}{٣} \times ٦٠}{٤} \times \frac{١}{\text{دقيقة}}$$

$$= \frac{\frac{٥٠}{٣} \times ٦٠}{٤} \times \frac{١}{\text{دقيقة}}$$

$= ٢٥٠$ دورة فى الدقيقة

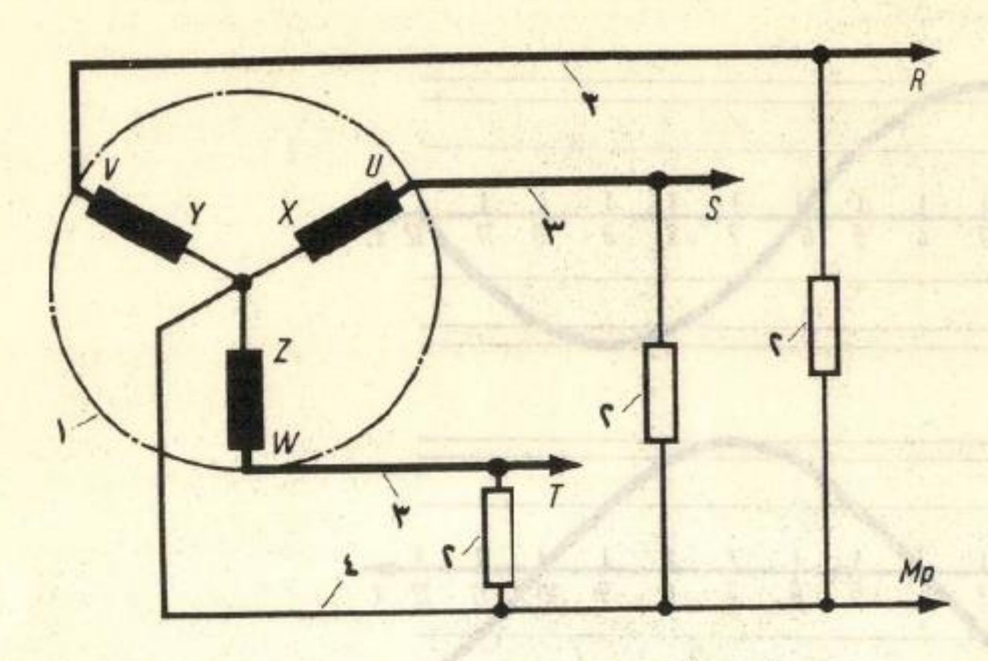
يدور المولد بسرعة ٢٥٠ دورة فى الدقيقة .

(ب) الترابط المتبادل بين الأطوار فى توصيلات النجمة والدلتـــا :

الترابط المتبادل بين الأطوار فى توصيلة النجمة :

يحتاج النظام المفتوح الثلاثى الأطوار إلى ستة خطوط لنقل القدرة الكهربائية . وعلى كل، فعند توصيل لفيفات المولد توصيلا متداخلا ، يكتفى بأربعة خطوط بجهدين مختلفى القيمة .

وسيؤخذ فى الاعتبار هنا بمثل هذا النظام ذى الأربعة أسلاك . يبين الشكل (٢٠١) اللفيفات الثلاثة لمولد ، مرتبة ترتيباً يعرف بتوصيلة النجمة ، أو توصيلة Y . وتوصل الأسلاك المرقمة التمييز بينهـا بالرمز س X ، ص Y ، ع Z ، إلى نقطة توصيل نجمة أو نقطة تعادل .



شكل ٢٠١ : نظام أربعة أسلاك فى توصيلة نجمة

١ – لفيفات المولد .

٢ – حمل على هيئة مقاومات أومية ، نقطة تعادل نم .

٣ – موصلات خارجية ر T ، ث S ، ت R

نفرض أن هذا النظام ذى الأربعة أسلاك حمل بمقاومات أومية .

وعادة يمكن إعتبار مساحة المقطع المستعرض لموصل التعادل أصغر من الأسلاك الخارجية . والسبب فى هذا مبين بالشكل (٢٠٢) الذى يشمل جدولا به حاصل جمع الجهود الجزيئية فى نفس الأطوار .

يبين هذا الجدول ، أنه فى أى لحظة ، يكون مجموع الثلاثة جهود فى توصيلة نجمة مساوياً لصفر .

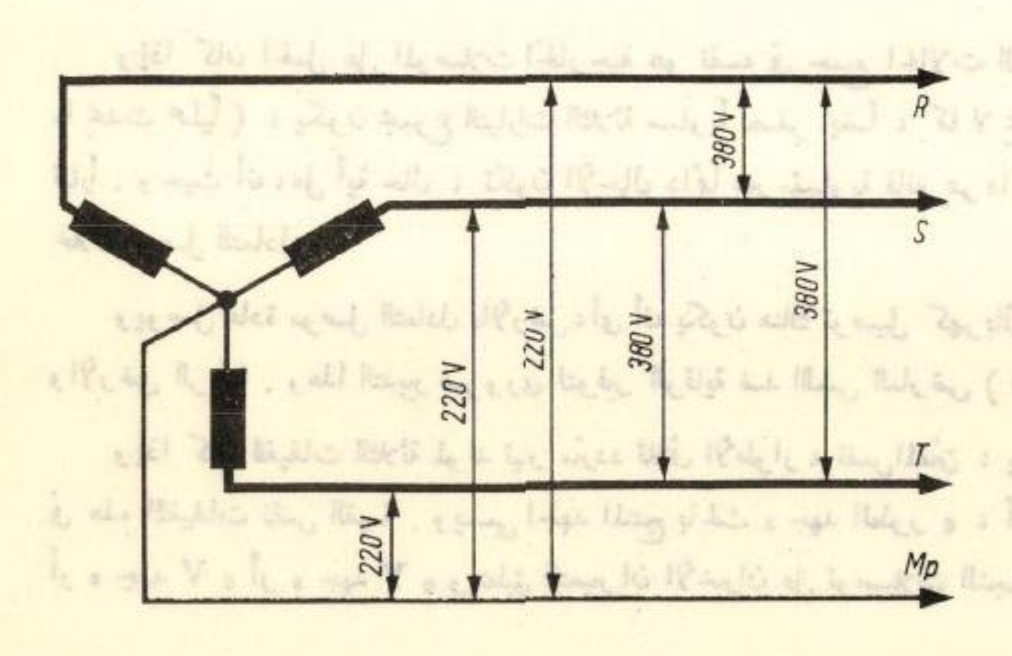
وإذا كان الحمل على الموصلات الخارجية هو نفسه فى جميع الحالات الثلاثة (وهذا نادراً ما يحدث عملياً) ، يكون مجموع التيارات الثلاثة مساوياً لصفر أيضاً ، كما لا يحمل موصل التعادل تياراً . وحيث أنه ، على أية حال ، تكون الأحمال دائماً غير متساوية فإنه يمر دائماً تيار رجوع معين خلال موصل التعادل .

ويوصل عادة موصل التعادل بالأرض ، أى أنه يكون هناك توصيل كهربائى بين نقطة التعادل والأرض الرطبة . وهذا التدبير ضرورى لتوفير الوقاية ضد اللمس العارض (التأريض الواقى) .

وإذا كان اللفيفات الثلاثة لمولد تيار متردد ثلاثى الأطوار ، نفس المقنن ، يكون للجهود المنتجة فى هذه اللفيفات نفس القيمة . ويسمى الجهد المنتج بالحث « جهد الطور » ، أو جهد « النجمة » أو « جهد V » أو « جهد Y » وينطبق التعبيران الأخيران على توصيلات النجمة فقط . ومن هذا

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	156	270	312	270	156	0	−156	−270	−312	−270	−156	0
II	−312	−270	−156	0	156	270	312	270	156	0	−156	−270
III	156	0	−156	−270	−312	−270	−156	0	156	270	312	270
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شكل ٢٠٢ :
منحنيات الجهد لتيار متردد ثلاثي الأطوار وحاصل جمعها



شكل ٢٠٣ :
شروط الجهد فى أنظمة الأربعة أسلاك
ج = ٢٢٠ فلط .
$ج_{خط}$ = ٣٨٠ فلط .

ينتج أن جهود الأطوار الثلاثة تكون متاحة، وهي ج ن م ر (ج $_{R-MP}$) ، ج ن م ت (ج $_{T-MP}$) ، ج ن م ث (ج $_{S-MP}$). (ن م (MP) تعنى النقطة الوسطى ، ويقصد بها هنا موصل التعادل). وعلاوة على ذلك ، يعطى نظام الأربعة أسلاك ثلاثة جهود بين الخطوط ج$_{خط}$ أو يعطى جهودا بين طور وطور وهي ج$_{RS}$ ، ج$_{RT}$ ، ج$_{ST}$.

وإذا كانت القيمة الفعالة لجهد الطور هي ٢٢٠ فلط ، على سبيل المثال ، يكون الجهد بين طور وطور ج$_{خط}$ = ٣٨٠ فلط .

يبين الشكل (٢١٣) جهود نظام ذو أربعة أسلاك .

ويمكن إيجاد العلاقة العامة بين ج$_{طور}$ ، ج$_{خط}$ بواسطة مثلث الجهد (الشكل ٢٠٤) .

$$\frac{ج_{خط}}{٣} : ج = جتا ٣٠^\circ$$

$$ج_{خط} = ٢ \times ج \times جتا ٣٠^\circ$$

$$ج_{خط} = ٢ \times ج \times \frac{١}{٢} \sqrt{٣}$$

$$ج_{خط} = ج \times \sqrt{٣}$$

$$ج_{خط} = ١,٧٣ \times ج$$

شكل ٢٠٤ : مثلث الجهد لجهود الأطوار ج بينها فرق طور ١٢٠°

١ – جهود الأطوار ج بينها فرق طور ١٢٠°

٢ – زاوية ٣٠°

٣ – جهد الخط ج$_{خط}$

٤ – $\frac{ج_{خط}}{٢}$

الجهود بين طور وطور ، فى نظام ثلاثى الطور ، فى توصيلة نجمة تساوى ١,٧٣ مرة جهد الطور ج .

ولقد أفادنا النظام الثلاثى الأطوار بأربعة أسلاك فى تكوين ترتيبات الدائرة الآتية :

توصيلة أحادية الطور : تركيبات الإضاءة ، الأجهزة الكهربائية المنزلية ، المحركات الكهربائية الموصلة بين الموصل الخارجي وموصل التعادل .

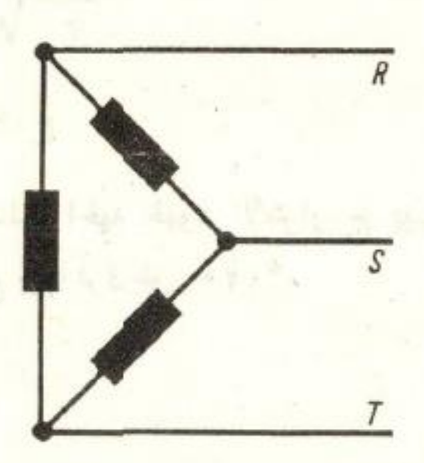
توصيلة ثنائية الآطوار : المحركات الكهربائية للتشغيل الثقيل بالتيار المتردد موصلة بين موصلين خارجيين .

توصيلة ثلاثية الأطوار : المحركات الكهربائية ثلاثية الأطرار ووحدات التسخين الصناعية ذات الخرج العالى ، الموصلة بين الموصلات الخارجية الثلاثة .

الترابط المتبادل بين الأطوار فى توصيلة الدلتـــا :

يبين الشكل (٢٠٥) مثالا لمولد فى توصيلة دلتا . ومن الواضح أنه يلزم لذلك ثلاثة موصلات خارجية (ر R ، ث S ، ت T) . وتبعاً لذلك يكون لفروق الجهد بين هذه الموصلات الخارجية نفس القيمة . وعلى كل ، لا يطبق ذلك على شـــدة التيار فى دائرة كهربائية مقفلة (والدائرة المقفلة تعبير آخر لتوصيلة الدلتا) . ودائماً ، تصبح قيم شدة التيار لتيارات الأطوار فعالة ، كما هى الحال بالنسبة للجهود فى توصيلة النجمة ، وعليه فإن :

$$ت_{خط} = \sqrt{٣}\ ت_{طور} \quad ، \quad ت_{خط} = ١,٧٣ \times ت_{طور}$$



شكل ٢٠٥ : توصيلة الدلتا

شدة تيار الموصل $ت_{خط}$ فى نظام ثلاثى الطور فى توصيلة دلتا تساوى ١,٧٣ مرة شدة تيار الطور .

مثـــال :

قيست شدة تيار ت فكانت ١٢٠ أمبير بين الموصلات الخارجية لمولد توصيلة دلتـــا . أوجد شدة التيار فى لفيفة واحدة ؟ .

المعطيات : تيار الموصل $ت_{خط}$.

المطلوب : تيار الطور $ت_{طور}$

الحـــل :

$$ت_{خط} = ت_{طور} \times \sqrt{3}$$

$$ت_{طور} = \frac{ت_{خط}}{\sqrt{3}} ، ت_{طور} = \frac{120}{1,73} \text{ أمبير}$$

$$ت_{طور} \simeq 70 \text{ أمبير}$$

لفيفات المولد محملة بتيار قيمته حوالى ٧٠ أمبير

(ج) القدرة فى دائرة تيار متردد ثلاثى الأطوار :

نص فى (القسم الأول – الفصل الثانى عشر) ، على أن القدرة الفعالة لتيار متردد أحادى الطور ، تعطى بالعلاقة :

$$قد_{ف} = ج_{ف} \times ت_{ف} \times جتا \, \Phi$$

وبافتراض أن الأحرف المستخدمة كرموز فى العلاقات هى للجهود والتيارات أو القدرات الفعالة دون الإشارة إلى ذلك ، تحسب القدرة لكل طور من :

$$قد_{طور} = ج \times ت \times جتا \, \Phi$$

وللتيار المتردد الثلاثى الأطوار :

$$قد = \sqrt{3} \times ج \times ت \times جتا \, \Phi$$

ولنبحث الآن عن التأثير الذى تبـــذله ترتيبة الدائرة الكهربائية المعطاة على تعيين القدرة فى نظام تيار متردد ثلاثى الأطوار :

توصيلة نجمـــة	توصيلة دلتـــا
$ج_{طور} = \frac{ج_{خط}}{\sqrt{3}}$	$ج_{طور} = ج_{خط}$
$ت_{طور} = ت_{خط}$	$ت_{طور} = \frac{ت_{خط}}{\sqrt{3}}$

ومن هذا ينتج :

$$قد = ٣ \times \frac{ج_{خط}}{\sqrt{٣}} \times ت_{خط} \times جتا\ \Phi$$

$$قد = ٣\ ج_{خط} \times \frac{ت_{خط}}{\sqrt{٣}} \times جتا\ \Phi$$

وباختصار كلتا المعادلتين نحصل على التعبير العام للقدرة للتيار المتردد ثلاثى الطور :

$$قد = \sqrt{٣} \times ج_{خط} \times ت_{خط} \times جتا\ \Phi$$

$$قد = ١,٧٣ \times ج_{خط} \times ت_{خط} \times جتا\ \Phi$$

مثـــال :

ما القدرة المحولة فى نظام تيار متردد ثلاثى الطور ، إذ كانت شدة التيار المقاسة ١٣٠ أمبير ، عند جهد بين طور وطور قيمته ٣٨٠ فلط ؟ وكانت قراءة جهاز قياس عامل القدرة هى ٠,٧٨

المعطيات : $ج_{خط}$ = ٣٨٠ فلط

$ت_{خط}$ = ١٣٠ أمبير

جتا Φ = ٠,٧٨

المطلوب : القـــدرة قد

الحـــل :

$$قد = ١,٧٣ \times ج_{خط} \times ت_{خط} \times جتا\ \Phi$$

$$قد = ١,٧٣ \times ٣٨٠ \times ١٣٠ \times ٠,٧٨$$

قد = ٦٣٤٦٦ واط ، قد = ٦٣,٤٦٦ كيلو واط

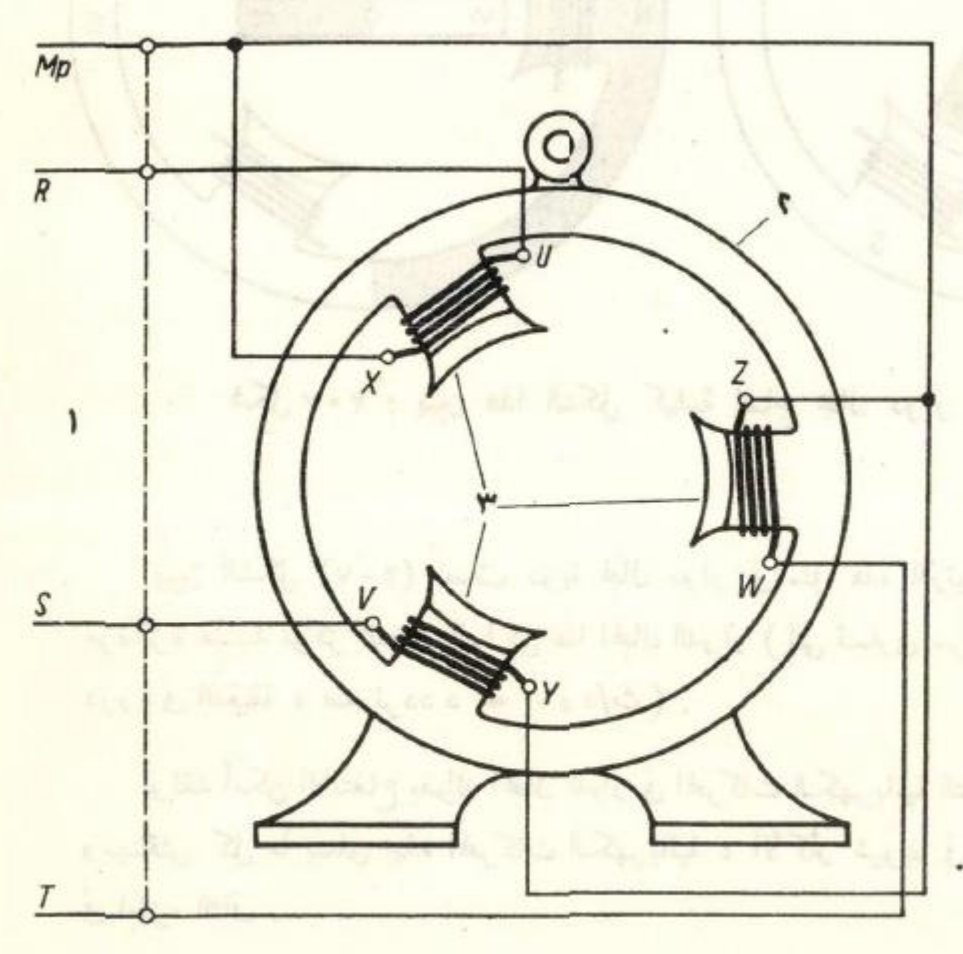
القدرة فى هذه الدائرة الكهربائية للتيار المتردد ثلاثى الأطوار ٦٣,٥ كيلو واط تقريبا .

(د) المجـــال الدوار :

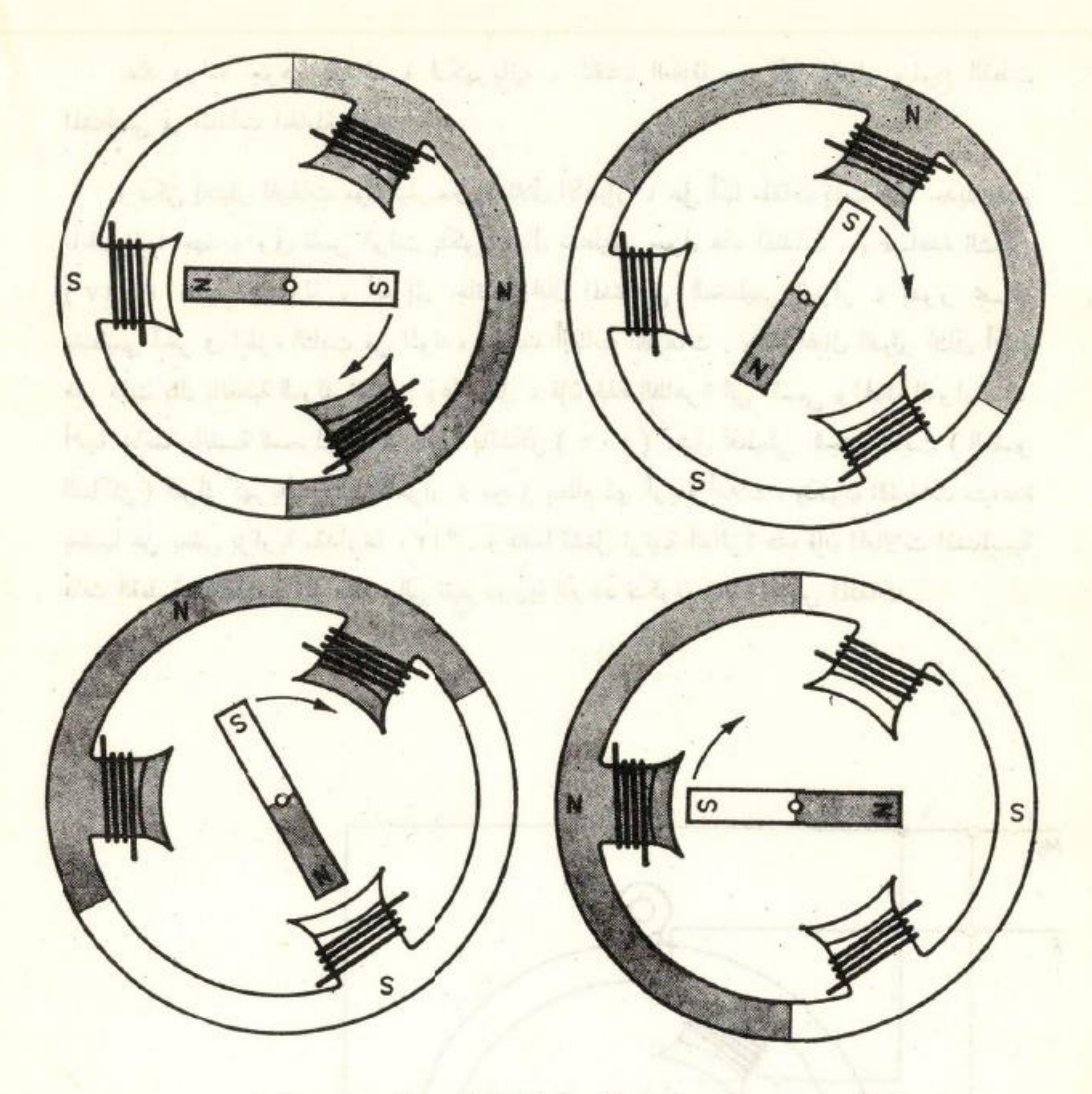
يصاحب التيار المتردد ثلاثى الأطوار ظاهرة تؤخذ فى الاعتبار ؛ حيث أنها ذات فوائد خاصة للاستخدام التجارى لهذا النوع من التيار . ويفسر هذا فيما يلى :

عند دراسة جوهر المغنطيسية الكهربائية ، ناقشنا العلاقة بين اتجاه التيار ونوع القطب المغنطيسى فى الملفات الحاملة للتيار .

ويمكن إعتبار لفيفات مولد تيار متردد ثلاثى الأطوار ، على أنها ملفات ذات قلب حديد ينتج بالحث فيها جهد ، وفى نفس الوقت يتكون مجال مغنطيسى حول هذه الملفات . وبمساعدة الشكل (١٩٧) نتفهم بسهولة ، أنه إلى جانب المجال المغنطيسى للمغنطيس الدوار ، يدور مجال مغنطيسى آخر فى الجزء الثابت من المولد، أى عند أقطاب الفيفات . ولهذا المجال الدوار الثانى أهمية غير ذات بال بالنسبة للمولد نفسه . وعلى كل ، فإن لهذه لظاهرة التى تسمى « المجال الدوار » ، أهمية خاصة بالنسبة للمحرك الكهربائى . بالشكل (٢٠٦) تمثيل تخطيطى للجزء الثابت (العضو الساكن) لمحرك كهربائى ثلاثى الأطوار ، موصل بنظام ذى أربعة أسلاك . وتكون اللفيفات متباعدة بعضها عن بعض بزاوية مقدارها ١٢٠° . وعندما تشغل ترتيبة الدائرة هذه فإن المجالات المغنطيسية ذات القطبية المغنطيسية المترددة والتى تتبع دورية التردد تتكون عند رؤوس الملفات .



شكل ٢٠٦ : عضو ساكن ذو ثلاثة ملفات موصل بنظام ذى أربعة أسلاك
١ — نظام ذو أربعة أسلاك.
٢ — جسم من حديد مغنطيسى.
٣ — ملفات .



شكل ٢٠٧ : يبين هذا الشكل كيفية إنتاج مجال دوار بالحث

يبين الشكل (٢٠٧) نصف دورة لمجال دوار فى مثل هذه الترتيبة ، وتتبع إبرة مغنطيسية مرتكزة عنـــد مركز العضو الساكن هذا المجال الدوار (التى تساوى سرعة دورانه حوالى ٣٠٠٠ دورة فى الدقيقة ، عند تردد د = ٥٠ د/ث) .

ولقد أمكن الانتفاع بفوائد المجال الدوار فى المحركات الكهربائية الثلاثية الأطوار اللاامتزامنة . وسيناقش كل ما يتعلق بهذه المحركات الكهربائية ، الأكثر شيوعا فى الاستخدام فى الصناعة ، فى الجزء الثانى .

القسم الثانى

تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية

الفصل الأول

الاختبـــار والقياس

يميز بين الاختبار والقياس فى الهندسة الكهربائية ، كما هى الحال فى مجالات الهندسة الأخرى .

يعرف الاختبار بأنه طريقة لتعيين حالة أو ظرف . ومثال لذلك ، هل هناك جهد أم لا ؟ (نعم أم لا) هل هناك قطع فى الخط (نعم أم لا) ؟

وبالقياس نتأكد من قيمة كمية كهربائية . ويعبر عن كمية كهربائية بقيمة عددية مضروبة فى الوحدة .

أمثلة :

الكمية	القيمة العددية	الوحدة
الجهد	٥	فلط (٥ فلط)
شدة التيار	١٢٥	أمبير (١٢٥ أمبير)
المقاومة	٢٥٠٠٠	أوم (٢٥ كيلو أوم)

عند اختبار تركيبات أو معدات كهربائية ، تعين الشروط الكهربائية أو التشغيلية . وبالقياس تعين الكميات الكهربائية ، أو يتم التأكد من قيمها .

الفصل الثانى

معدات الاختبار البسيطة وتطبيقاتها

عند القياس يميز بين :

اختبار الجهد ،

و اختبار الإستمرارية .

وعند إختبار نظام لجهد ، يفترض أنه يتعدى ٤٢ فلط ، يجب استخدام معدات إختبار صممت لهذا الغرض . وتكون معدات الإختبار التى يصنعها الفرد ، والتى تكون على هيئة دواة بها مصباح ، وأسلاك توصيل ، مصدرا للخطر .

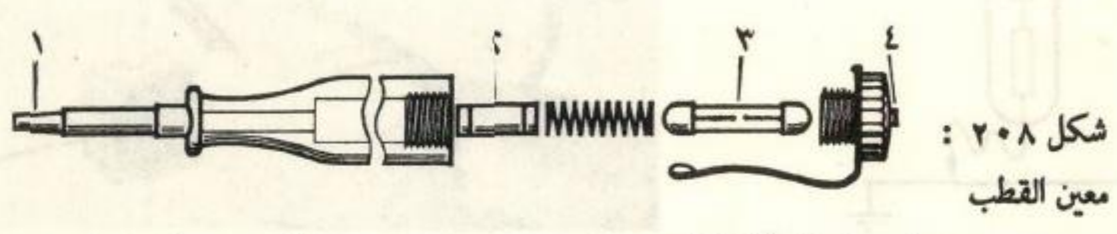
١/٢ – إختبار الجهد بواسطة معين القطب ومبين الجهد :

(ا) الإختبار بواسطة معين القطب :

يبين الشكل (٢٠٨) التمثيل التخطيطى لمبين القطب ، والذى يعرف أيضاً بمبين القطبية ، ويصلح لجهود بين ١٠٠ فلط ، ٢٥٠ فلط . وعادة يكون طرف اختباره على شكل سن مفك لكى يمكن إستخدامه كأداة .

يومض المصباح المتوهج فى نطاق الجهد المعين ، إذا لمس طرف الإختبار جزء مكهرب (على سبيل المثال ، إذا لمس طرف الإختبار طرف أو ملامس مفتاح كهربائى) . بينما يلمس الشخص المختبر ملامس الإصبع . وعند جهد حوالى ١٠٠ فلط يشع المصباح المتوهج ضوءاً خافتاً نسبياً عنه عند جهد ٢٢٠ فلط .

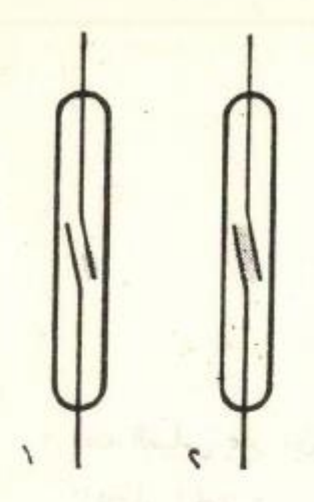
وبجانب إختبار وجود ، أو عدم وجود جهد ، يمكن إستخدام معين القطب للتأكد من نوع الجهد إذا كان مستمراً أو متردداً ، على حسب الحالة . ويبين الشكل (٢٠٩) المصباح المتوهج عند الجهد المستمر (١) ، وعند الجهد المتردد (٢) .



شكل ٢٠٨ : معين القطب

١ – طرف الاختبار . **٣ – مصباح متوهج .**

٢ – مقاومة (حوالى من ٢ إلى ٣ ميجا أوم) . **٤ – ملامس إصبع .**



شكل ٢٠٩ : إشارة من المصباح المتوهج عند أنواع مختلفة من الجهد
١ – إشارة فى حالة التيار المستمر .
٢ – إشارة فى حالة التيار المتردد .

فعند الجهد المستمر يشع الضوء إلكترود واحد من المصباح المتوهج ، وفىحالة الجهد المتردد يشع الضوء الإلكترودان بالتناوب. وحيث أنه لا يمكن لأعيننا تتبع الضوء أثناء تناوبه دورياً ، عند التردد المعطى ، لذا ، يظهر هذا الضوء لأعيننا منتظماً بين الإلكترودات .

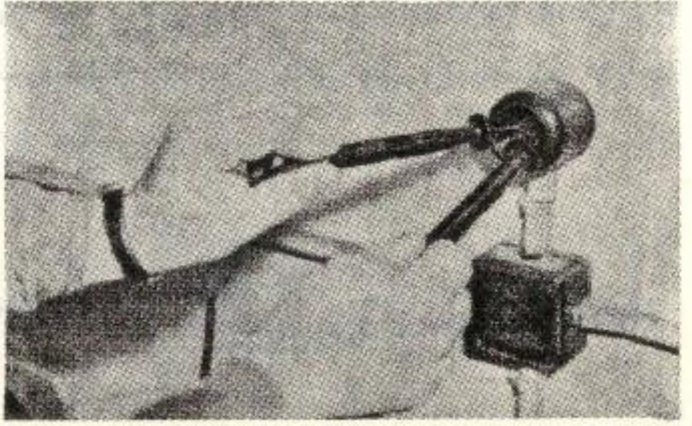
(ب) الإختبار بواسطة مبين الجهد :

يطبق أساس تشغيل معين القطب أيضاً بالنسبة لمبين الجهد ، مع عدم وجود ملامس إصبع ، ولكن يستخدم بدلا منه ، طرفا اختبار معزولين ، لإختبار الشئ المراد اختباره . ويبين الشكل (٢١٠) إستخدام مبين الجهد ، فى اختبار جهد بين الخطوط لمخرج مقبس . ويمكن إستخدام نفس طريقة الاختبار ، للتأكد من سلامة صندوق التوصيل ، أو مفتاح كهربائى ، أو شريحة طرفية فى محرك كهربائى أو لوحة مفاتيح كهربائية .

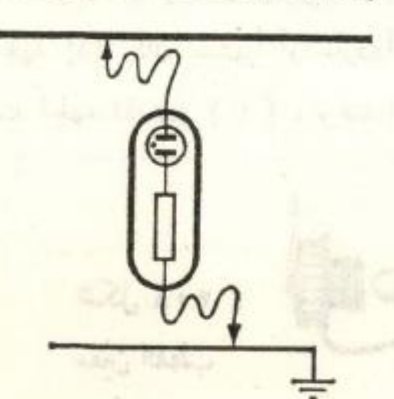
وهناك طريقة أخرى للاختبار ، وهى الإختبار بالنسبة للأرض (الشكل ٢١١) . ويصبح مثل هذا الاختبار ضرورياً لمعرفة أى خط (من عدة خطوط) يوصل الكهرباء للأرض . ومثال لذلك ، فإنه من الضرورى إجراء مثل هذا الاختبار ، لمعرفة أى خط يكون موصل التعادل لتوصيلة بجهد ٢٢٠فلط فىنظام بأربعة أسلاك (لا يحدثهذا الخطعندإختباره تشغيل لمبينالجهد) .

٢|٢ – إختبار الإستمرارية بواسطة معدات إختبار بسيطة :

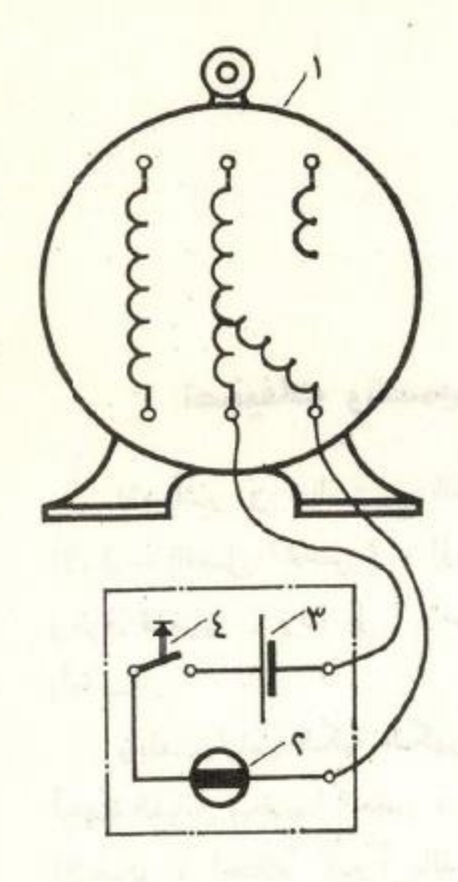
تكون أى تركيبات كهربائية أثنـاء تشغيلها دائرة كهربائية مقفلة . وتفشل دائرة كهربائية أو أى معدات كهربائية فى التشغيل الصحيح ، إذا كانت هناك على سبيل المثال دائرة قصر ، أو تسرب للأرض ، أو سلك مقطوع ، أو توصيلة خاطئة : أو تلامس خاطئ .

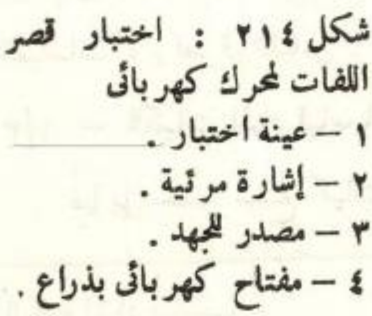


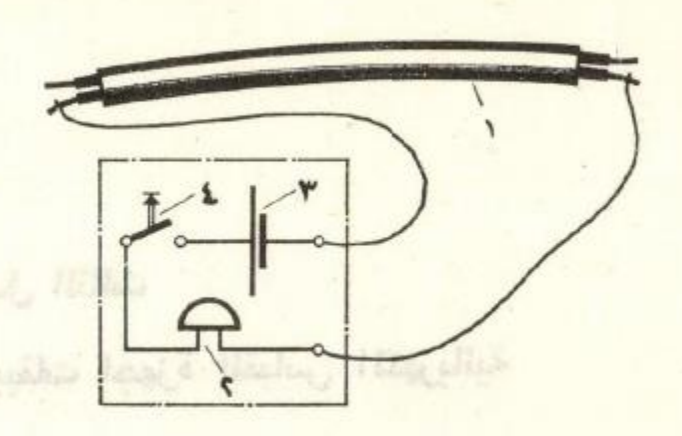
شكل ٢١٠ : اختبار الخط لخط بواسطة مبين الجهد



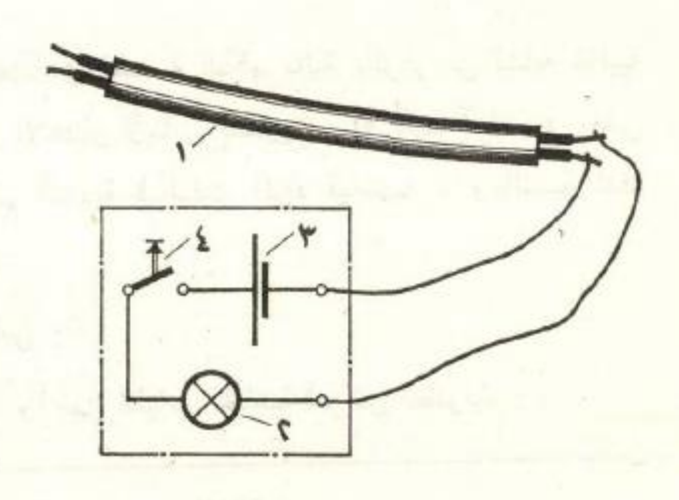
شكل ٢١١ : اختبار الخط للأرض بواسطة مبين الجهد







شكل ٢١٢ : اختبار استمرارية خط بواسطة زنان
١ – عينة اختبار . ٣ – مصدر للجهد .
٢ – زنان . ٤ – مفتاح كهربائى بذراع .



شكل ٢١٤ : اختبار قصر اللفات لمحرك كهربائى
١ – عينة اختبار .
٢ – إشارة مرئية .
٣ – مصدر للجهد .
٤ – مفتاح كهربائى بذراع .

شكل ٢١٣ : اختبار دائرة قصر فى كبل
١ – عينة اختبار . ٣ – مصدر للجهد .
٢ – مصباح متوهج . ٤ – مفتاح كهربائى بذراع .

ويمكن عادة تعقب مصاعب من هذا النوع بواسطة إختبارات الإستمرارية ، وتجرى عندما تكون التركيبات أو المعدات غير مكهربة . وتتكون معدات الإختبار البسيطة من مصدر للجهد (عادة عمود جلفانى) ومبين كمصباح متوهج أو إشارة مرئية أو زنان .

ويمكن اختبار أجزاء التركيبات أو المعدات التى بها مقاومات كهربائية منخفضة بواسطة مصابيح متوهجة وزنان . ويجب إختبار المعدات التى ينوقع إحتواؤها على مقاومات أعلى ، بواسطة إشارات مرئية ، نظراً لأن لها دخل قدرة منخفض ، وتعمل على شدة تيار صغيرة جداً .

وتبين الأشكال من (٢١٢) إلى (٢١٤) بضع أمثلة لاختبارات الإستمرارية .

الفصل الثالث

تصنيفات وتصميمات وتطبيقات أجهزة القياس الكهربائية

لقد أشير فى مجال شرح العلاقات المتبادلة بين شدة التيار ، والجهد ، والمقاومة (القسم الأول – الفصل الخامس) ، إلى الأميترات والفلطمترات ، دون التعرض لتفاصيل تصميماتهـا ، وطرق تشغيلها . وفيما يلى وصف لأهم أجهـزة القياس المستخدمة فى الهندسـة الكهربائية وأدائهـا .

ويلعب قياس الكمية الكهربائية دوراً هاماً فى الهندسة الكهربائية بالرغم من تشابه غالبية أجهزة القياس ببعضهـا البعض ، ومع الأخذ فى الاعتبار لأساس تشغيلها ، إلا أنهـا تختلف فى بعض الأحيان ، اختلافاً كبيراً بالنسبة لمدى القيم العددية للكميات المراد قياسهـا ، وبالنسبة لدقة القياسات ، ولطرق القياس .

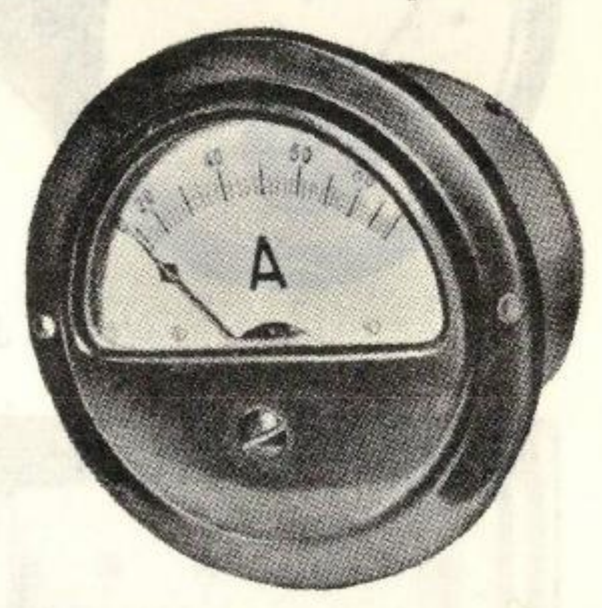
٣/١ – الكميات المراد قياسها – أجهزة القياس :

فيما يلى حصر لبضع كميات يراد قياسهـا ، وأجهزة القياس المناسبة للغرض المطلوب :

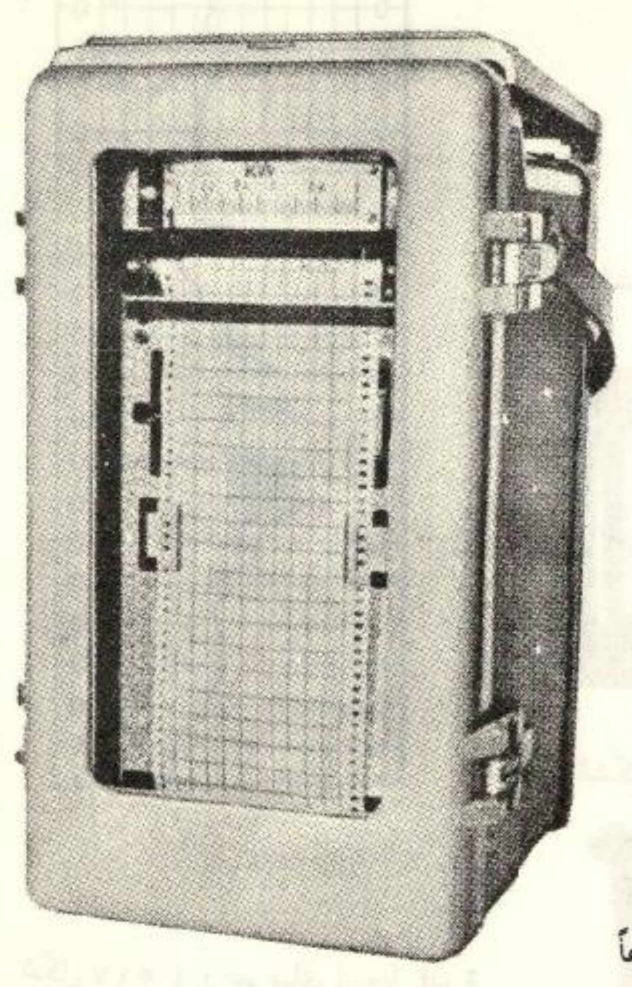
الكمية المراد قياسهـا	جهاز القياس
شدة التيـــار	أميتر ميزان أمبير
الجهـــد	فلطمتر جهاز قياس فرق الجهد المطلق
المقـاومة	أومتر بملف متقاطع ، قنطرة قيـاس مقاومـة .
الـتردد	جهاز قياس التردد بريشـة
القـــدرة	واطمتر

٢/٣ – تصميم ودقـة قياسات أجهزة القياس :

يراعى عند طلب أجهزة القياس ، أن يكون هذا الطلب محدداً بدقة بقدر الإمكان (وبغض النظر عن الكميات المراد قياسها) . كما تطلب أجهزة النياس ذات التطبيق الواسع المدى . وقد وضعت تصميمات متعددة لأجهزة القياس ، فى مراحل تطويرها .



شكل ٢١٥ : جهاز بيان كهربائى
(VEB Elektro Apparate- Werk Berlin-Treptow G D R)



شكل ٢١٦ : جهاز مسجل

وفيما يلى وصف لأكثر هذه الأجهزة شيوعاً فى الإستخدام :

أجهزة بيـان كهربائيـة :

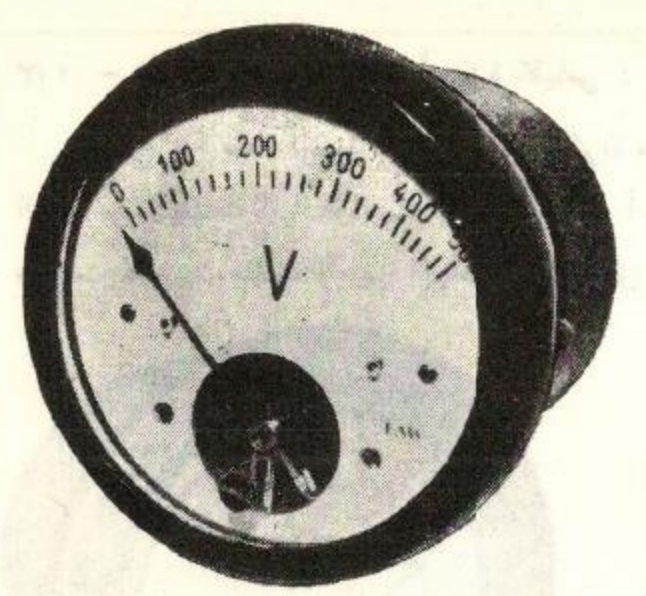
وتبين القيمة للكمية المراد قياسها بواسطة مؤشر ينحرف على تدريج (الشكل ٢١٥) .

أجهزة مسجلة كهربائية :

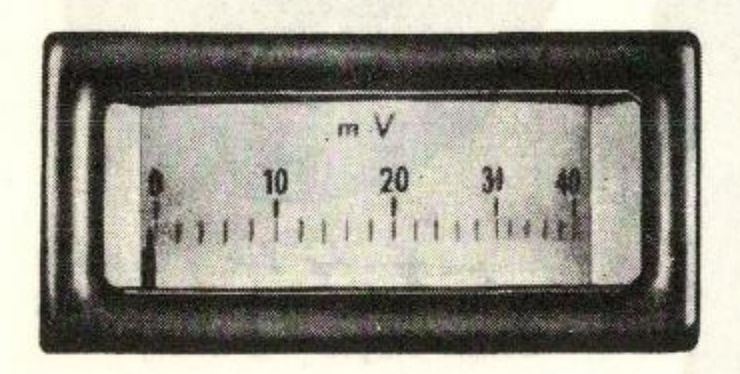
وتسجل نبيطة تسجيل ، تناظر حركتها إنحراف مؤشر ، القيمة المقاسة للكمية المراد قياسها، على شريط من الورق ، يتحرك بسرعة ثابتة (الشكل ٢١٦ و الشكل ٢١٧) .

أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية :

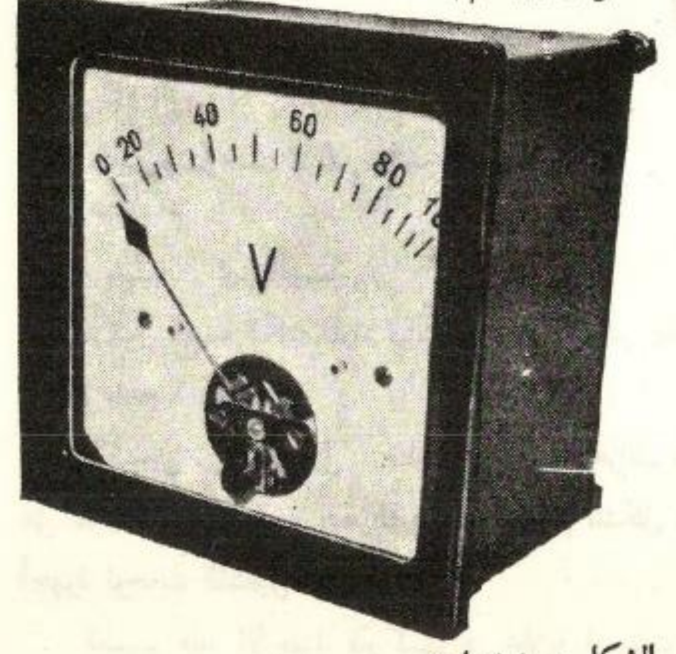
تصمم هذه الأجهزة للتركيب فى خلايا لوحات التشغيل الكهربائية وللإستخدام الثابت . ولأجهزة القياس ذات التصميم القديم منها شكل مستدير عادة ، بينما يكون للأجهزة الحديثة منها شكل مستطيل أو مربع (الشكل ٢١٨) .



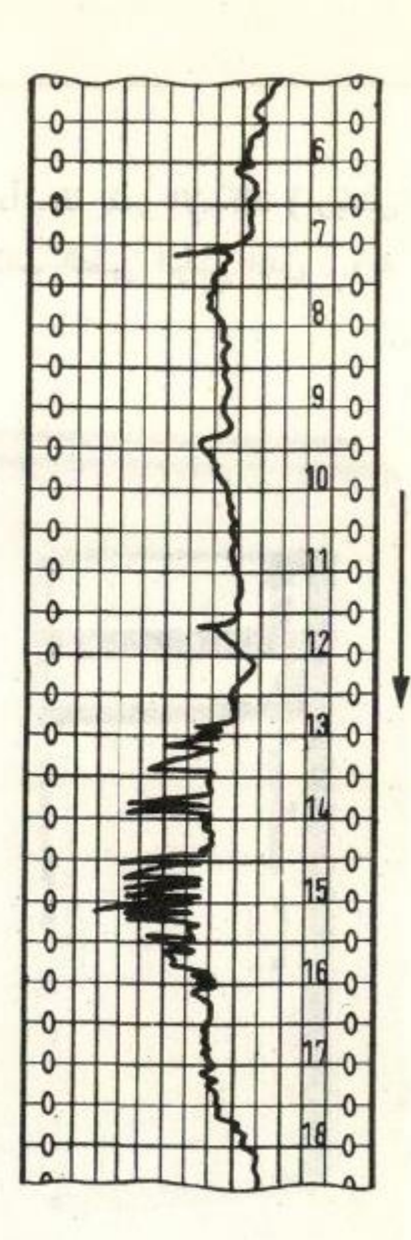
الشكل : ٢١٨/١



الشكل : ٢١٨/٢



الشكل : ٢١٨/٣



شكل ٢١٧ : رسم بيانى لسجل قدرة
(الأرقام تبين الزمن)

شكل ٢١٨ :
أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية
١ – شكل مستدير .
٢ – شكل مستطيل .
٣ – شكل مربع .

أجهزة نقالى كهربائية :

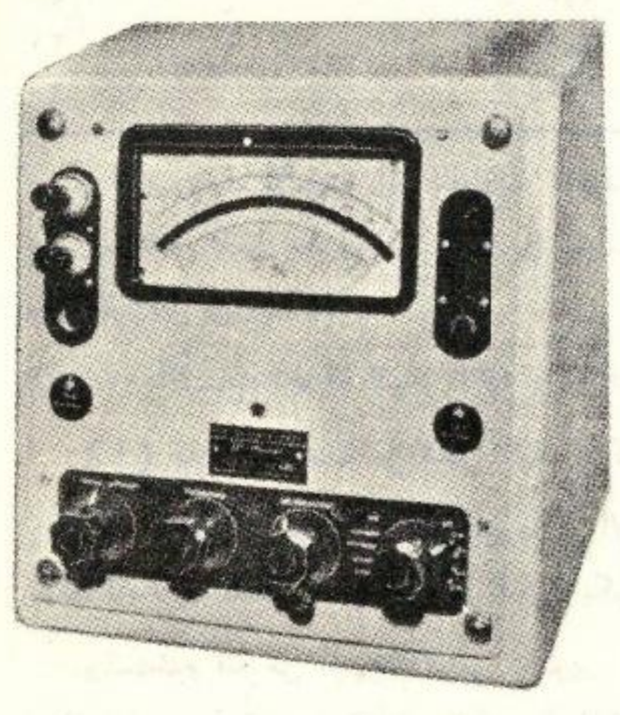
وتستخدم فى التركيبات الكهربائية وأغراض الإصلاح . وهناك عدة تصميمات لأجهزة القياس النقالى ، مناسبة لقياس عدة كميات (أجهزة قياس متعددة الغرض) (الشكل ٢١٩) .

أجهزة قياس كهربائية معملية :

ويجب أن تفى باحتياجات الطلبات الدقيقة ، من حيث دقة القياس ، ودقة القراءة . وعادة تكون تداريج مثل هذه الأجهزة مركبة على مرايا . وتكون أجهزة القياس المعملية من النوع النقالى (الشكل ٢٢٠) .



شكل ٢١٩ : جهاز نقالى



شكل ٢٢٠ : أجهزة قياس معملية

(ا) دقة القياس :

يميز بين الأجهزة الدقيقة والأجهزة الصناعية (التجارية) ، كما تصنف هذه الأجهزة طبقا لحدود الخطأ . ويعبر عن حدود الخطأ على المدى الفعال بنسبة مئوية من مدى التدريج . وقد قسمت الأجهزة إلى مجموعات تبعاً لهذه القيم المسموح بها .

درجة الدقة	٠,١	٠,٢	٠,٥	١	١,٥	٢,٥	٥
التأثير على النتيجة (فى المائة)	٠,١	٠,٢	٠,٥	١	١,٥	٢,٥	٥
	أجهزة دقيقة			أجهزة صناعية (تجارية)			

ويبين تأثير درجة دقة جهاز القياس على النتائج بالمثال التالى :

مثـــال :

ما حد الخطأ معبراً عنه فى المائة لفلطمتر ، درجة دقته ٢,٥ ، وله مدى تدريج ١٠٠ فلط ؟

الجهد (بالفلط)	الإنحراف (بالفلط)	حدود الخطأ (نسبة مئوية)
١٠٠	± ٢,٥	٢,٥٠
٨٠	± ٢,٥	٣,١٢
٦٠	± ٢,٥	٤,١٦
٤٠	± ٢,٥	٦,٢٥
٢٠	± ٢,٥	١٢,٥٠
١٠	± ٢,٥	٢٥,٠٠

وتؤدى هذه الأجهزة إلى إنحرافات تؤخذ فى الاعتبار فى المدى المنخفض ، ولهذا السبب يجب إستخدام المدى العلوى فقط للجهاز فى القياس . ويجب تجنب قياسات الجهد فى المثال المعطى عاليه للقيم أقل من ٨٠ فلط .

٣/٣ — آليـــات الحركة لقياس الجهد وشدة التيـــار :

(ا) ملاحظات عامة على شكل آلية الحركة لأجهزة القياس :

تبنى آليات الحركة ، الأكثر شيوعاً فى الإستخدام ، على أساس المغنطيسية الكهربائية . وتبذل المجالات المغنطيسية قوة على جسم متحرك ، يكون تحركه (إنحرافه) هو قياس للكية المراد قياسها .

وتستخدم قلة من أجهزة القياس القوى الموجودة بين الشحنات الكهربائية الإستاتيكية (مثال لذلك جهاز قياس فرق الجهد الكهربائى المطلق ، المبين وصفه بالقسم الأول — الفصل الثالث). ونادراً ما يستخدم التأثير الحرارى للتيار الكهربائى فى أغراض القياس . وفى هذه الأجهزة تكون إستطالة معدن معرض للحرارة هى القياس للكمية المراد قياسها .

(ب) أجهزة القياس بحديدة متحركة :

تبنى آليات حركة أجهزة القياس هذه على حركة ملفات مفلطحة ، أو ملفات مستديرة.

آليات حركة الملفات المفلطحة :

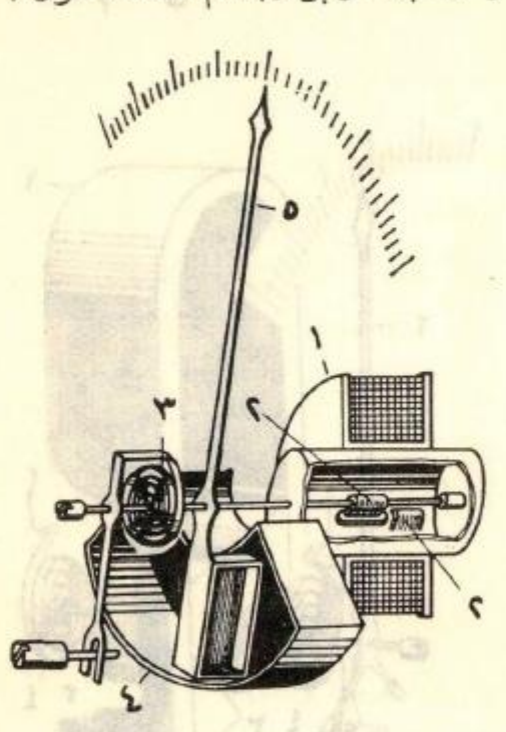
بالشكل (٢٢١) تصميم لآلية حركة ملفات مفلطحة . يلف ملف بطريقة مـا ، بحيث تكون لفتحته شكل الشقب . يوضع لوح صغير من الحديد أمام هذا الشقب بحيث يكون حر الدوران ، وبحيث يكون مزوداً بمؤشر ، وبزنبرك لوابى لحركة المرتجعة . توصل نبيطة مضاءلة مع لوح الحديد الصغير ، لضمان تحرك المؤشر بنعومة . ويستخدم فى هذه الحالة نظام مضاءلة هوائى .

وعندما يمر تيار عبر الملف المفلطح ، يسحب اللوح الحديد داخل شقب الملف إلى مدى معين .

وبإجراء قياسات مقارنة ، يقسم التدريج بحيث تكون المسافة التى يقطعها لوح الحديد متناسبة مع شدة التيار أو الجهد .

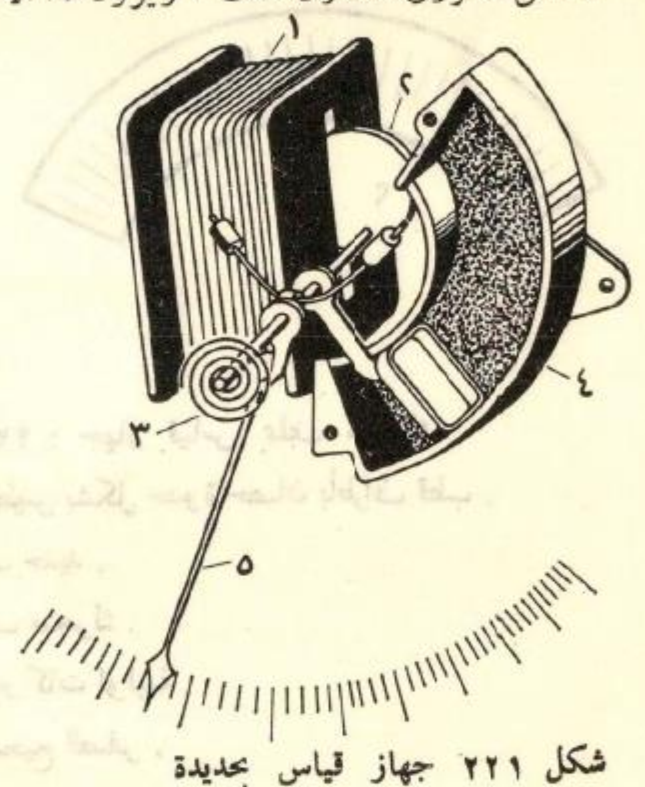
آليــات حركة الملفات المستديرة :

بالشكل ٢٢٢ تصميم آلية حركة ملف مستدير . وتميز عن آلية حركة الملف المفلطح فى شكلها وباستخدامها للتنافر المغنطيسى . فيوجد لوح حديدى صغير ثابت وآخر متحرك فى الحيز الداخلى الكروى لصندوق الملف ، ويزود هذا الأخير بمؤشر وزنبرك لولبى وبنظام مضاءلة هوائى .



شكل ٢٢٢ : جهاز قياس بحديدة متحركة بملف مستدير

١ — ملف مستدير .
٢ — لوح حديد صغير .
٣ — زنبرك لولبى .
٤ — نظام مضاءلة هوائى .
٥ — مؤشر يتحرك على تدريج .



شكل ٢٢١ جهاز قياس بحديدة متحركة بملف مفلطح

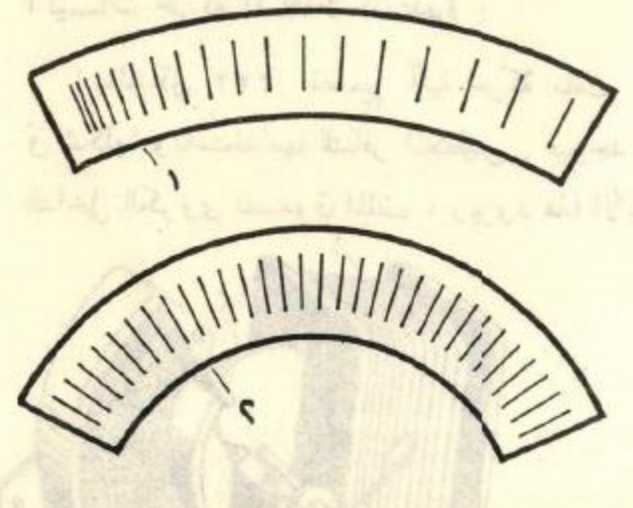
١ — ملف مفلطح .
٢ — لوح حديد صغير .
٣ — زنبرك لولبى .
٤ — نظام مضاءلة هوائى .
٥ — مؤشر يتحرك على تدريج .

عندما يمر تيار خلف الملف يتمغنط اللوحان الصغيران بفيض من نفس الاتجاه بحيث يتنافران مع بعضهما البعض ، وهذا بسبب إنحراف المؤشر .

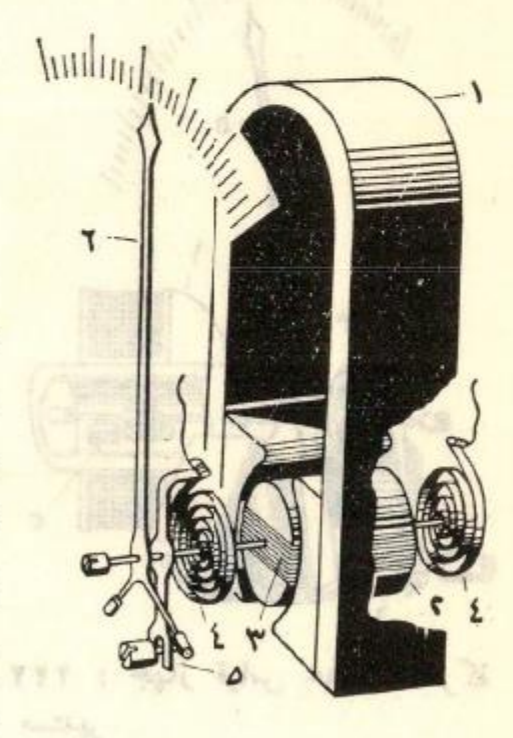
تطبيقات أجهزة القياس بحديدة متحركة :

تكون آليات الحركة هذه مناسبة للتيار والجهد المستمر ، والتيار والجهد المتردد . ويكون لأجهزة القياس بحديدة متحركة ذات التصميات القديمة أقسام تدريج لوغاريتمية (الشكل ٢٢٣ — ١) ، بينما تكون أجهزة القياس الحديثة منها مزودة بأقسام تدريج خطية (الشكل ٢٢٣ — ٢) .

ويمكن الحصول على تدريج خطى بتشكيل خاص للوح الحديد حيث أن عزم اللى يتناسب مع مربع شدة التيار .



شكل ٢٢٣ : أقسام التدريج
١ – قسم مربع .
٢ – قسم خطى .



شكل ٢٢٤ : جهاز قياس بملف متحرك
١ – مغنطيس بشكل حدوة حصان بأطراف قطب .
٢ – قلب حديد .
٣ – ملف متحرك .
٤ – زنبركات لولبية .
٥ – تصحيح الصفر .
٦ – مؤشر يتحرك على تدريج .

وتكون القـــدرة التى تتطلبها آلية التحرك هـــذه عالية نسبيا ، ولهذا السبب لا يمكن استخدامها لقياس جهود وشدة تيارات منخفضة للغاية ، علاوة على أن آليات الحركة هذه يتوقف عملها على التردد ، وهذا يعنى أن مقاومتها تتغير بتغيرات التردد ، لهذا السبب فإن أغلب استخدامات أجهزة القياس بحديدة متحركة ينحصر فى دوائر التيار المتردد (تردد ٥٠ هز) . وهذه الأجهزة غير مناسبة للقياسات عند مدى الترددات العالية .

(ج) أجهزة القياس بملف متحرك :

يبين الشكل ٢٢٤ تصميما لجهاز قياس بملف متحرك . يوضع قلب حديد مستدير فى نطاق مجال حدوة حصان مغنطيسى دائم ، تزود نهايتها بأطراف أقطاب ، وتكون لثغرة الهواء بين أطراف القطب والقلب الحديدى ما يسمى بالمجال المغنطيسى المتجانس فى إتجاه نصف القطر . يركب فى ثغرة الهواء هذه ملف ملفوف على قاعدة من معدن خفيف الوزن ويزود محور هذا الملف بمؤشر .

يغذى التيار خلال زنبركين لولبيين لهما لفات ملفوفة باتجاه عكسى ، ويمكن بواسطة هذين الزنبركين ضبط وضع الصفر .

وعندما يسرى تيار مستمر فى الملف ، ينتج عزم لى يتوقف إتجاهه على إتجاه التيار ، حيث أن قطبية المغنطيس تبقى كما هى دون تغير . وإذا كان الصفر ، على سبيل المثال ، على الجانب الأيسر للتدريج ، تتلف آلية الحركة عند تعريضها لحمل ذى إتجاه تيار خاطئ ، ولفترة طويلة .

تطبيقات أجهزة القياس بملف متحرك :

يكون أساس عمل أجهزة القياس بملف متحرك بحيث تكون هذه الأجهزة مناسبة فقط للتيارات والجهود المستمرة ، وحيث أن آليات الحركة هذة تكون عالية الحساسية الكهربائية ، بحيث تكون متطلبات قدراتها منخفضة للغاية (حوالى ٠,٠٠١ ملى أمبير عند انحراف كامل على التدريج) ، فتستخدم أجهزة القياس بملف متحرك أيضا للتيار المتردد ، ويتحقق هذا بمساعدة مقومات أجهزة . تحول هذه النبائط التيار المتردد إلى تيار مستمر ، وسنناقش كيفية تشغيلها فيما بعد بهذا القسم .

وحيث أن المجال المغنطيسى لجهاز القياس بملف متحرك يكون ثابتا ، لذا يتوقف عزم اللى تماما على شدة التيار للملف المتحرك ، ويتناسب عزم الى مع شدة التيار ، ولهذا السبب تزود أجهزة القياس هذه بأقسام خطية للتدريج .

وتستخدم عادة الملفات المتحركة فى أجهزة القياس الدقيقة ، كما تستخدم فيها عدة مضاءلة التيار الدوامى . وتضاد المجالات المغنطيسية الدوارة التى تتكون فى قاعدة الملف المعدنية الخفيفة الوزن الحركة الدوارة للملف .

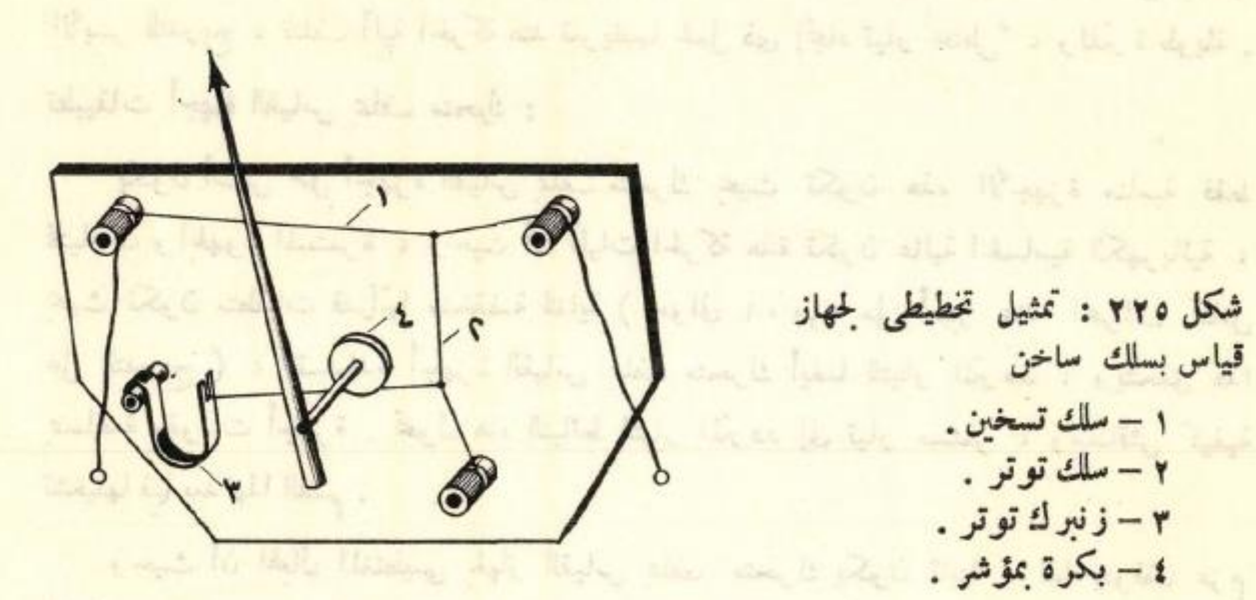
(د) أجهزة القياس بسلك ساخن :

يبين الشكل ٢٢٥ التصميم الأساسى لجهاز قياس بسلك ساخن . يمر تيار خلال سلك تسخين من سبيكة خاصة ، فيتمدد هذا السلك بالتسخين . ويتحرك سلك توتر موضوع بين زنبرك توتر وسلك التسخين ، وذلك نتيجة لتمدد السلك الأخير (يستطيل سلك التسخين ، بينما ينكمش الزنبرك) . وتنقل حركة سلك التوتر إلى بكرة مزودة بمؤشر .

تطبيقات أجهزة القياس بسلك ساخن :

هذه الأجهزة مناسبة للجهد المستمر والتيار المستمر ، وكذلك للجهد المتردد والتيار المتردد . وغالبا تكون متطلبات القدرة لأجهزة القياس هذه عالية نسبيا ، وهذا يعنى أنه يمكن إستخدامها فقط عند قياس تيارات وجهود عالية . ومن مضار هذا النوع من أجهزة القياس توليد كية كبيرة نسبيا من الحرارة (حوالى ٣٠٠°م) ، إلى جانب الحساسية الشديدة للتحميل . إلا أن لآلية الحركة هذه فائدة عدم الإعتماد على التردد .

وحيث أن الحرارة المتولدة تتناسب مع مربع شدة التيار ، لذا يزود جهاز القياس هذا بأقسام تدريج لوغاريتمية .



شكل ٢٢٥ : تمثيل تخطيطى لجهاز قياس بسلك ساخن

١ – سلك تسخين .
٢ – سلك توتر .
٣ – زنبرك توتر .
٤ – بكرة بمؤشر .

وأحيانا تزود أجهزة القياس بسلك ساخن بأنظمة مفاءلة بالتيار الدوامى . وقد أصبحت هذه الأجهزة ، فى يومنا هذا ، غير شائعة الاستخدام .

(ه) أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

سبق وصف الإلكتروسكوب (المكشاف الكهربائى) . وجهاز قياس فرق الجهد فى مجال الحديث عن الشحنات الإستاتيكية الكهربائية (القسم الأول – الفصل الثالث) . وهذا وصف لآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح ، ولآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الاسطوانية .

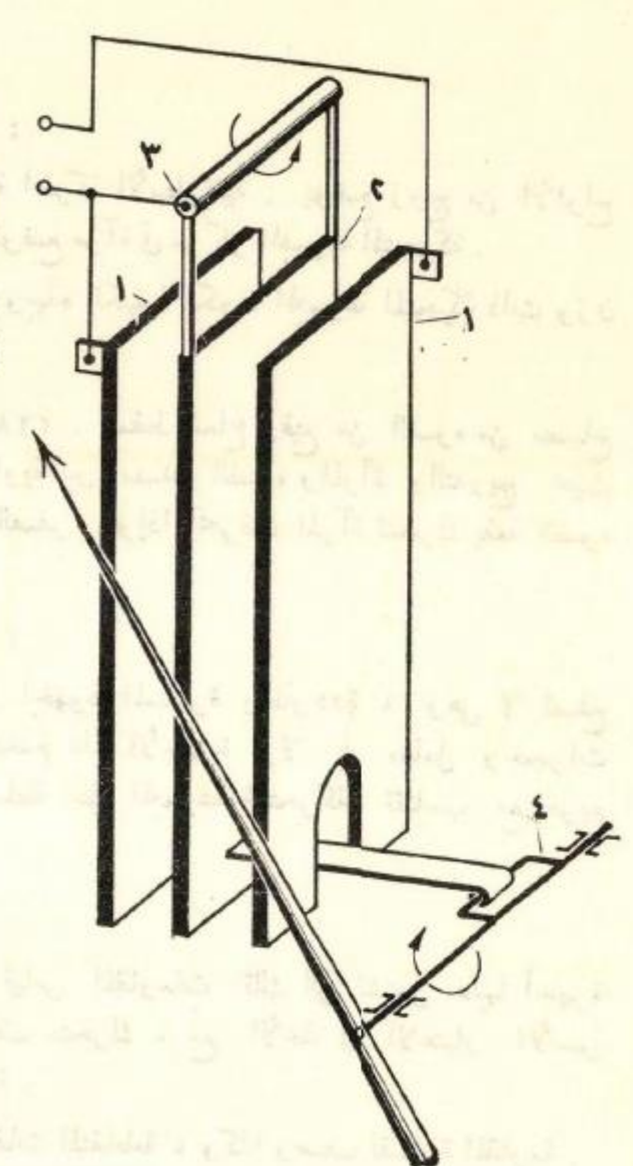
آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح :

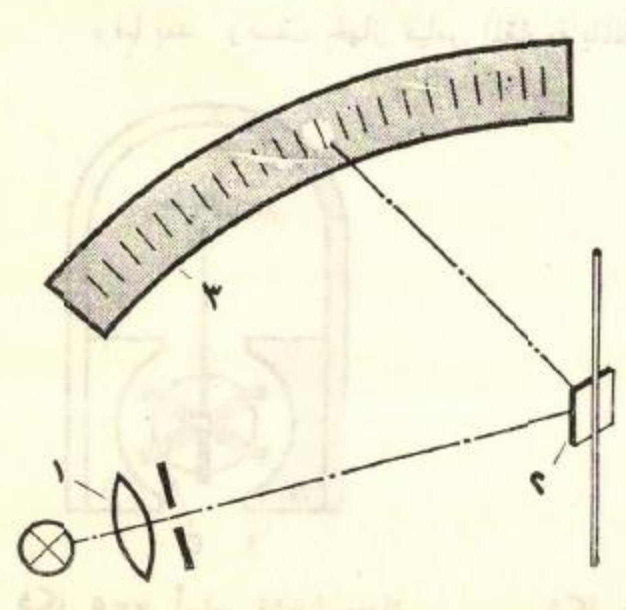
يبين الشكل (٢٢٦) التصميم الأساسى لآلية حركة من نوع اللوح . يوضع بين لوحين معدنيين ثابتين لوح ثالث ، بحيث يكون حر الحركة ومتراكبا على سطحى اللوحين الثابتين .

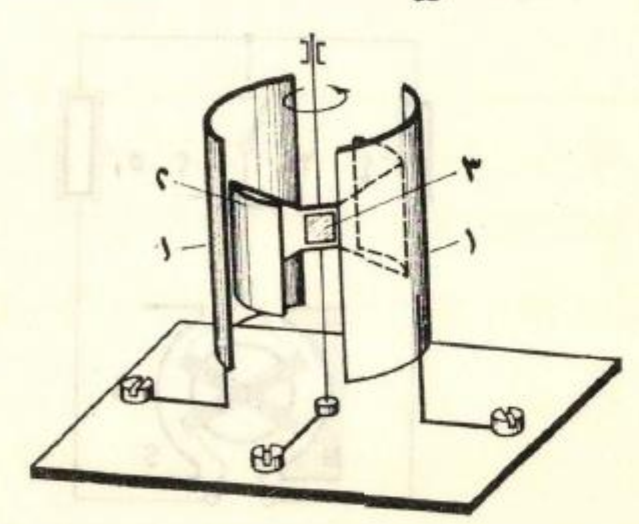
تنتقل الحركة من ذراع رافعة إلى محور موصل بمؤشر (فى غالبية التصميمات يركب على المحور قطاع مستدير من سبيكة خفيفة الوزن ويسمح له بالمرور عبر مغنطيس لأغراض المضاءلة) .

فإذا سلط جهد على الألواح الثابتة ينحرف اللوح المتحرك وتنتقل الحركة الناتجة عندئذ إلى المؤشر .

شكل ٢٢٦ : آلية حركة استاتيكية كهربائية من نوع اللوح
١ – ألواح ثابتة .
٢ – لوح متحرك .
٣ – نقطة ارتكاز اللوح المتحرك .
٤ – ذراع الرافعة و المحور و المؤشر .







شكل ٢٢٧ : آلية حركة استاتيكية كهربائية اسطوانية
١ – ألواح ثابتة .
٢ – ترتيبة الألواح المتحركة . ٣ – مرآة .

شكل ٢٢٨ : المؤشر المضى لأجهزة القياس
١ – مصدر ضوء وعدسة .
٢ – مرآة .
٣ – تدريج .

آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الأسطوانية :

يبين الشكل ٢٢٧ التصميم الأساسى لآلية الحركة الأسطوانية . يوضع زوج من الألواح المستديرة المتحركة تبين ألواح مواسع مستدير وتوضع مرآة فى مركز المجموعة المتحركة .

تستخدم هذه المرآة للبيان بواسطة الضوء . وبهذه الكيفية تكون المجموعة المتحركة ذات وزن أخف منها عندما تكون بمؤشر ميكانيكى .

وتوضح نظرية البيان بالضوء فى الشكل ٢٢٨ . يسقط شعاع رفيع من الضوء من مصباح متوهج ، على المرآة عبر عدسة . وتكون الزاوية بين مصدر الضوء والمرآة والتدريج بحيث تظهر بقعة ضوئية على علامة على التدريج عند الصفر . وإذا انحرفت المرآة تتحرك بقعة الضوء على التدريج تبعا لذلك .

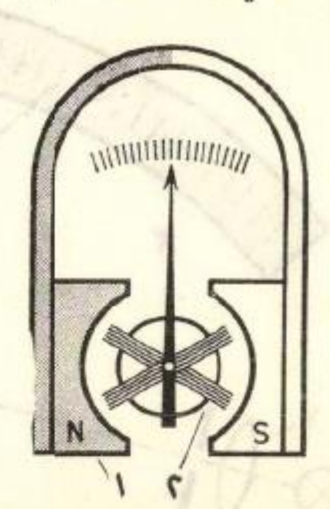
تطبيقات أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

هذه الأجهزة مناسبة فقط ، لقياس كل الجهود المستمرة والمترددة ، وهى لا تصلح للإستخدام فى قياسات الجهد المنخفض . وتستخدم هذه الأجهزة أولا فى معامل وحجرات إختبار الجهود العالية . وحيث أن القوة المسلطة على المجموعة المتحركة تتناسب مع مربع الجهد ، فإن التدريج يزود بأقسام لوغاريتمية .

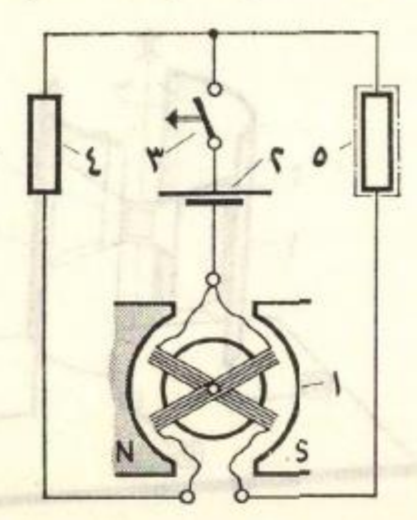
٤/٣ – آليـــات الحركة لقياس المقاومة :

تشبه آلية الحركة التى تشتمل عليها أجهزة قياس المقاومات تلك التى تشتمل عليها أجهزة القياس بحديدة متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك ، مع الأخذ فى الاعتبار الأسس المغنطيسية الكهربائية التى تحكم حركة هذه الأجهزة .

وفيما بعد وصف لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، وكذا وصف لقنطرة المقاومة .



شكل ٢٢٩ أساس تشغيل جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع
١ – مغنطيس دائم بأقطاب على هيئة حدوة حصان .
٢ – ملف متقاطع .



شكل ٢٣٠ : رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس المقاومة بملف متقاطع
١ – منظر قطاع لآلية الحركة .
٢ – مصدر الجهد .
٣ – مفتاح كهربائى بذراع .
٤ – مقاوم مقارنة م .
٥ – الشئ المراد قياسه (مقاومة غيرمعروفة م).

(ا) جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة :

بالشكل ٢٢٩ تمثيل تخطيطي لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، ويشبه التصميم العام له تماما ذلك الخاص بجهاز القياس بملف متحرك . وهو يختلف عن تصميم جهاز القياس بحديدة متحركة . ويتكون هذا الجهاز من لفيفتين منفصلتين ، موضوعتين بزاوية معينة بالنسبة لبعضهما البعض . وعادة تلف اللفيفتان على إطار ملف واحد مشترك . ولا يثبت في الملف المتحرك زنبرك لولبي ، لعدم ضرورة وجود قوة لإعادة الضبط . يغذى التيار خلال موصلات على هيئة خوص لينة (وتكون عادة خوصا من الذهب) .

يبين الشكل ٢٣٠ رسما تخطيطيا لدائرة جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، موضحا طريقة تشغيل هذا الجهاز . يوصل أحد طرفي كل لفيفة مع طرف الأخرى . ويؤدي هذا التوصيل إلى تلامسها مع مصدر الجهد . بينما تمر الوصلتان الأخريان خلال المقاومين (٤ ، ٥) ، والمفتاح الكهربائي بذراع ، إلى مصدر الجهد . بهذا تكون اللفيفتان موصلتين على التوازي . إلى جانب هذا فإنهما تنتجان عزوم لي متضادة في الاتجاه . وعندما يمر تيار خلال ترتيبة الدائرة الكهربائية هذه (بتشغيل المفتاح الكهربائي بذراع) ، ينتج عزمي لي (يكون إتجاه أحدهما في إتجاه دوران عقارب الساعة ، ويكون اتجاه الآخر في عكس اتجاه دوران عقارب الساعة) . وإذا كانت المقاومتان متساويتين (م = م) ، لا ينحرف المؤشر ، حيث أن التيارين المارين عبر الملفات يكون لهما نفس الشدة ويؤديان إلى تكوين عزوم لي في اتجاه عكسي ، ولكن بنفس القوة .

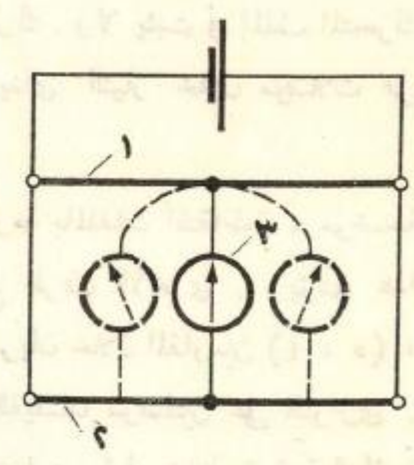
توصل آلية الحركة بحيث ينحرف المؤشر إذا كان لتيار المار خلال $م_{س}$ (المقاومة المراد قياسها) له قيمة أعلى ، وهذا يمكن من تقسيم التدريج بالأوم ، بحيث تعطى القراءة بالأوم ، وتكون القياسات بواسطة هذا الجهاز صحيحة فقط في مدى صغير للقياس .

(ب) قنطرة القياس :

تصلح قناطر القياس التي تعرف أيضا بقناطر المقارمة للقياسات عالية الدقة ، ويستخدم فيها ملف متحرك يدور في أي اتجاه كآلية حركة . يبين الشكل ٢٣١ أساس تشغيل قنطرة القياس . ويوصل سلكان لهما نفس المقاومة على التوازي بمصدر الجهد . وإذا وصل جهاز القياس بحيث يحدث تلامسا في المركز ، بين سلكي المقاومة تماما ، فإنه لا يسري تيار . وإذا تغيرت التوصيلات بالكيفية المبينة بالخطوط المتقطعة في الشكل ٢٣١ ، يسري تيار في جهاز القياس . ويمكن ترتيب الدائرة الكهربائية أيضا بالكيفية المبينة في الشكل ٢٣٢ .

وعلى كل حال ، فسوف لا يمر تيار خلال جهاز اقياس الموصل بهذه الكيفية إذا كانت المقاومات وأسلاك المقاومة القيم المناظرة ، ويمر تيار في جهاز القياس فقط إذا كانت

القنطرة غير متزنة . ويحدث ذلك عندما نستبدل باحدى المقاومتين مقاومة مختلفة . وعند استخدام توصيلة واحدة لجهاز القياس كمجس لاختبار سلك المقاومة على مدى طوله ، توجد نقطة على سلك المقاومة (فى نطاق مدى معين من قيمة المقاومة الجديدة المستبدلة) ، حيث يقطع عندها التيار المار فى السلك (الشكل ٢٣٢) .

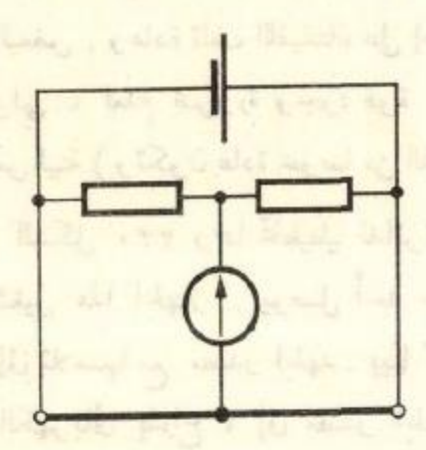


شكل ٢٣١ : أساس قنطرة القياس

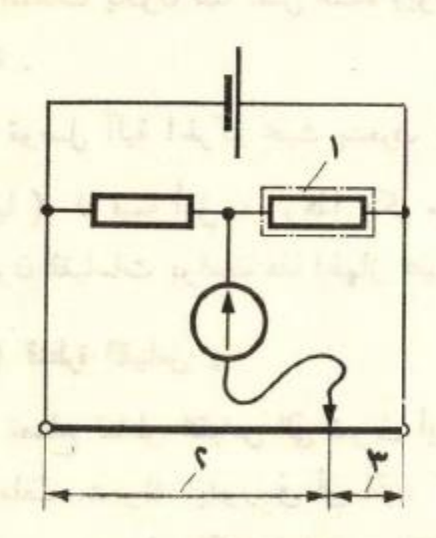
١ – سلك مقاوم .

٢ – نفس السلك المقاوم مثل ١ .

٣ – جهاز قياس .



شكل ٢٣٢ : قنطرة قياس بمقاومتين جزئيتين وسلك مقاوم واحد



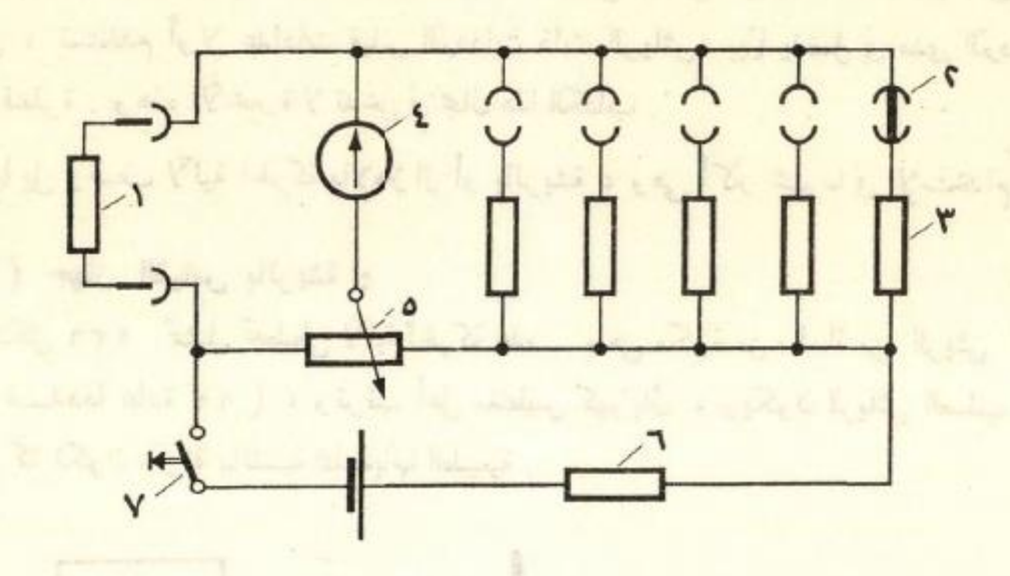
شكل ٢٣٣ : قنطرة قياس بمقاومة مجهولة

١ – مقاومة مجهولة القيمة .

٢ – طول ١ من سلك المقاومة .

٣ – طول ٢ من سلك المقاومة .

فى الدائرة المبينة فى الشكل ٢٣٢ ، يوصل طرف واحد من جهاز القياس بمركز سلك المقاومة بحيث ينصفه تماما إلى طولين متساويين . فى الشكل ٢٣٣ يكون طولا سلك المقاومة غير متساويين ، لضمان إتزان القنطرة كهربائيا ، فإذا عرفت قيمة مقاومة جزئية واحدة ، أمكن تعيين قيمة المقاومة المجهولة ، من نسبة الأطوال والمقاومة المعروفة .

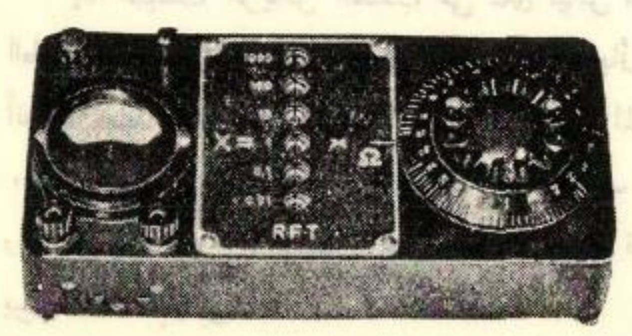


شكل ٢٣٤ : رسم تخطيطى لدائرة قنطرة القياس بأكثر من مدى للقياس

١ – المقاومة المطلوب قياسها . ٢ – ملامسات إصبع .
٣ – مقاومة قياس . ٤ – جهاز قياس .
٥ – مقاوم متغير . ٦ – مقاوم واق .
٧ – مفتاح كهربائى بذراع .

وفى قناطر القياس الصناعية ، يكون لسلك المقاومة شكل ريوستات (مقاومة متغيرة) ، يزود زر إدارته بأرقام . وعند توصيل المقاوم مع المقاومة المجهولة بالقنطرة ، يضبط الريوستات بحيث يبين جهاز القياس القراءة صفر . وبتطابق الرقم على زر الإدارة للمقاوم الدوار ، مع علامة على الصندوق الذى يحتوى عليه تبين قيمة المقاومة المراد قياسها .

وعادة تصمم قناطر القياس من هذا النوع للتشغيل على أكثر من مدى للقياس وينتخب مدى القياس بواسطة إصبع . بالشكل ٢٣٤ رسم تخطيطى ، لدائرة قنطرة قياس ، بمدى متعدد للقياس . ويبين الشكل ٢٣٥ التصميم التجارى لقنطرة قياس صغيرة تستخدم فى الورش .



شكل ٢٣٥ : قنطرة قياس بمقاوم

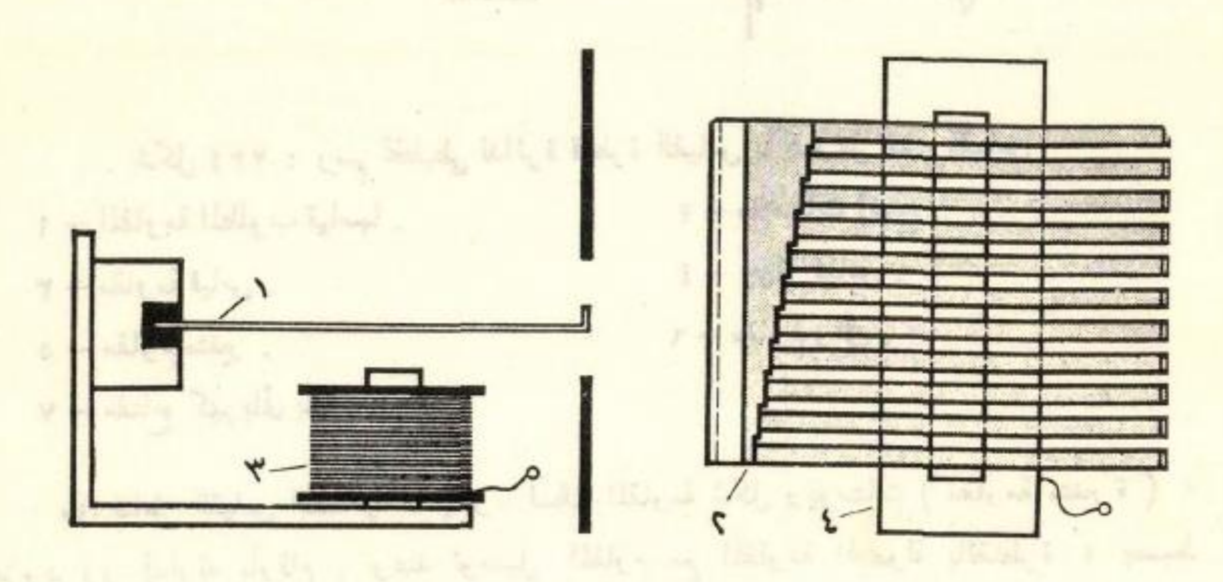
٣|٥ – آليــات الحركة لقياس الترددات :

تقاس الترددات ، بمساعدة أجهزة متعددة ، وعلى أساس طرق مختلفة . وفى مدى التردد المنخفض ، تستخدم أولا عدادات قياس الترددات ذات الرباش، بينما يفضل فى مدى التردد العالى إستخدام قنطرة . وهذه الأخيرة لا تدخل فى مجال هذا الكتاب .

وفيما يلى وصف لآلية الحركة بالإهتزاز أو بالريشة ، وهى أكثر شيوعا فى الإستخدام .

(أ) جهاز القياس بالريشة :

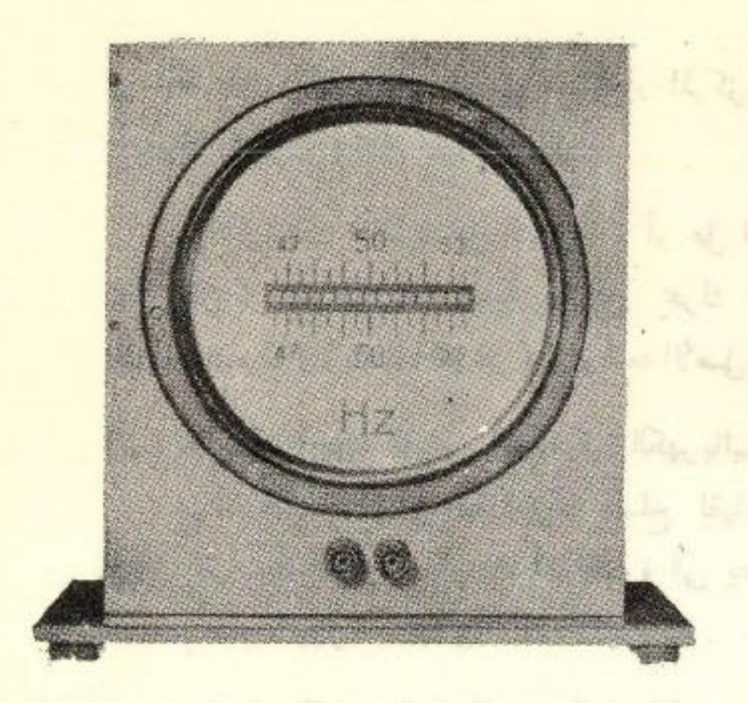
بالشكل ٢٣٦ تمثيل تخطيطى لآلية الحركة هذه . وهى مكونة من سلسلة من الريش الصلب (يكون عــددها عادة ١١) ، وترتب أعلى مغنطيس كهربئى ، ويكون للرياش الصلب أطوال مختلفة ، كما تكون متزنة بالنسبة لتذبذباتها الطبيعية .

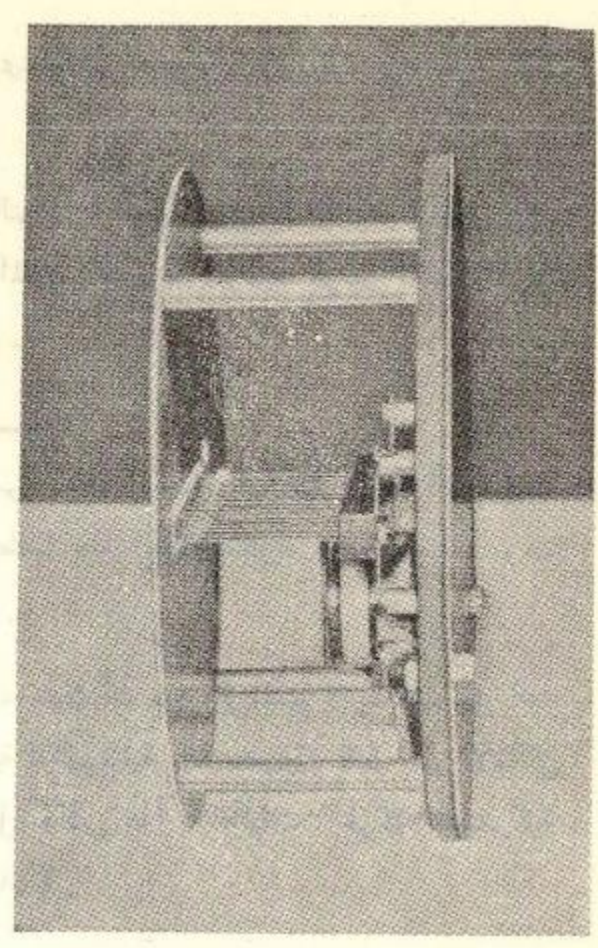


شكل ٢٣٦ : رسم هيكلى لجهاز قياس التردد بريشة

١ – رياش صلب . **٢ – مسقط علوى لرياش الصلب .**
٣ – مغنطيس كهربائى . **٤ – مسقط علوى للمغنطيس الكهربائى .**

إذا ضبطت الرياش الصلب على مدى قياس معين . فإن هذه الرياش ، والتى يكون تذبذبها الطبيعى ضعف تذبذب التردد فى المغنطيس الكهربائى ، تستجيب للتذبذبات القوية . وهذا يعنى أنه إذا سلط تيار متردد بتردد ٥٠ هز على المغنطيس الكهربائى ، فإن الريشة المضبوطة على ١٠٠ تذبذب تهتز بقوة،والريشة المواجهة تتذبذب تذبذبا ضئيلا جدا ،أو تفشل فى الحركة تماما . والشكل (٢٣٧ – ١) يبين المسقط الأمامى لجهاز قياس التردد بريشة . والشكل (٢٣٧ – ٢) ، يبين المسقط الجانبى له .





شكل ٢٣٧ : جهاز قياس التردد بريشة
١ – مسقط أمامى .
٢ – مسقط جانبى .

(ب) تطبيقات جهاز قياس التردد بالريشة :

يستخدم هذا الجهاز أولا للتأكد من ترددات المآخذ الرئيسية للتيار المتردد . ولهذه الأجهزة أهمية خاصة بالنسبة للقياسات التى تجرى على المولدات التى تعمل على التوازى .

٦/٣ – آليــات الحركة لقياسات القدرة :

يمكن قياس قدرة نظام (فى حالة التيار المستمرج × ت ،وفى حالة التيار المتردد ج × ت × جيب تمام Φ) ، مباشرة بواسطة آليات حركة ديناميكية كهربائية . ولهذا الغرض تكون أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية اللا حديدية وذات القلب الحديد مناسبــة خصيصا لذلك . وفيما يلى وصف لآلية حركة ديناميكية كهربائية لا حديدية .

(ا) آلية الحركة الديناميكية الكهربائية :

يبين الشكل (٢٣٨) تصميم آلية حركة تشبه تلك الخاصة بجهاز القياس بالملف المستدير تقريبا . يحتوى الملف المستدير على ملف متحرك ، توصل نهايتاه بزنبركات لولبية مرتبة خارج الملف المستدير . وعلاوة على ذلك صممت الزنبركات اللولبية لإحتجاز الملف المتحرك

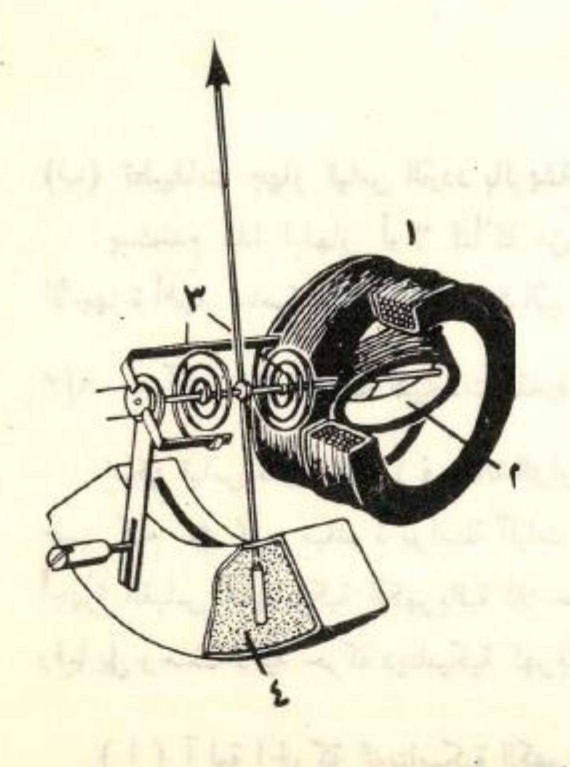
فى حالة عدم وجود تيار عمودى على المحور المركزى للملف المستدير . ويركب على محور الملف المتحرك مؤشر ، ونظام مضاءلة هوائى .

وإذا وصلت الملفات على التوازى ، أو على التوالى ، أولم توصل ، فذلك ليس بذى بال . وعلى كل ، ينتج عزم لى عندما يمر تيار يحرك الملف المتحرك . وتعيد الزنبركات اللولبية الملف المتحرك (وبالتالى المؤشر) إلى وضعه الأصلى .

(ب) تطبيقات أجهزة القياس الديناميكية الكهربائيـــة :

مع أن هذا النوع من آلية الحركة يصلح لقياس الجهد وشدة التيارات ، إلا أنه يستخدم أولا لقياسات القدرة ، حيث أن القدرة التى يتطلبها هذا الجهاز تكون عالية نسبيا . ولهذا تستخدم هذه الأجهزة غالبا فى الهندسة الكهربائية .

وهى تصلح لكل من التيار المستمر والتيار المتردد ، حيث أن عزم اللى المنتج لا يتوقف على اتجاه التيار . ويمكن استخدام أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية اللاحديدية فقط فى الأماكن التى لا تتداخل فيها المجالات المغنطيسية معها (وعلى عكس هذا ، فآليات الحركة الديناميكية الكهربائية بقلب حديد تكون أقل حساسية فى هذا المجال) .



شكل ٢٣٨ : تصميم آلية حركة ديناميكية كهربائية
١ — ملف مستدير ثابت .
٢ — ملف متحرك .
٣ — زنبركات لولبية .
٤ — نظام مضاءلة هوائى .

٧/٣ — الترقيم على أجهزة القياس (الشكل ٢٣٩) .

يمكن بسهولة تمييز أى نوع من أجهزة القياس الكهربائية بالنسبة للغرض المصمم من أجله ، وهو قياس الجهود ، أو شدة التيارات ، أو القدرات . ويمكن أيضا فى أغلب الحالات تصميم المدى المسموح به لجهاز القياس الكهربائى . وبالنسبة للمكونات الداخلية لجهاز القياس ،

مثل نوع آلية الحركة ، ومقوم جهاز القياس المستخدم ، وطبيعة التيار فإنه لا يمكن تمييزها ببساطة بمجرد النظر . لهذا السبب ترقم أجهزة القياس الكهربائية برموز تعطى عادة على التدريج . وقد قننت أغلبية هذه الرموز دوليا .

وتبين القائمة التالية الرموز الأكثر أهمية ومدلولاتها (الشكل ٢٣٨ – أ) .

٨/٣ – إطالة مدى القياس :

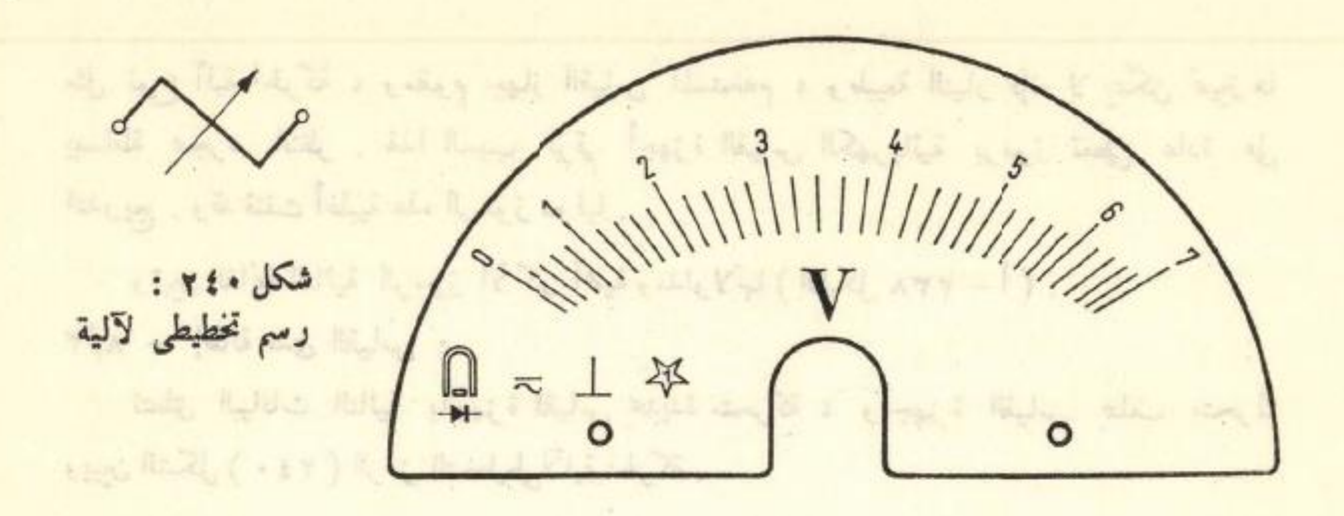
تتعلق البيانات التالية بأجهزة القياس بحديدة متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك ويبين الشكل (٢٤٠) الرمز التخطيطى لآلية الحركة .

شكل ٢٣٨ أ :

١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨

٩ ١٠ ١١ ١٢ ١٣ ١٤ ١٥ ١٦ ١٧ ١٨ ١٩

الرمز	المعنى	الرمز	المعنى
١	جهاز قياس بحديدة متحركة	١٠	تصحيح الصفر
٢	جهاز قياس بملف متحرك	١١	تيار مستمر
٣	جهاز قياس إستاتيكى كهربائى	١٢	تيار متردد
		١٣	تيارات مستمرة ومترددة
٤	جهاز قياس بسلك ساخن	١٤	جهاز قياس ثلاثى الأطوار بآلية حركة واحدة .
٥	جهاز قياس ديناميكى كهربائى لا حديدى		
٦	جهاز قياس ديناميكى كهربائى بقلب حديد .	١٥	جهاز قياس ثلاثى الأطوار بثلاث آليات حركة .
٧	مقوم جاف	١٦	وضع رأسى فى الاستخدام العادى .
٨	جهاز قياس بملف متحرك بمقوم جاف.		
٩	رمز جهد الاختبار (نجمة بدون رقم : ٥٠٠ فلط ، نجمة برقم ٢ : ٢٠٠٠ فلط ... إلخ) .	١٧	وضع أفقى فى الإستخدام العادى .
		١٨	وضع مائل فى الإستخدام العادى .
		١٩	وضع خدمة ، زاوية منصوص عليها .



شكل ٢٤٠ : رسم تخطيطى لآلية

شكل ٢٣٩ : أمثلة للترقيم على أجهزة القياس : البيانات المعطاة على التدريج تبين أن هذا الجهاز مزود بملف متحرك ومقوم جاف ،وأنه مناسب لكل من التيار المستمر والتيار المتردد، وأنه يجب استخدامه فى وضعه الرأسى فقط ، وأن جهد الاختبار هو ١٠٠٠ فلط

(ا) متطلبات القدرة وعامل الجودة لآليات الحركة :

يقال عن آلية حركة أنها أحسن من غيرها إذا كان عزم ليها المرتبط بكتلة العضو المتحرك (فى هذه الحالة ، يكون العضو المتحرك هو ملف متحرك ، بمحور ، وبمؤشر) ، أعلى من عزم آلية الحركة الأخرى . ونسبة عزم اللى إلى كتلة العضو المتحرك يعول عليها بالنسبة لجودة آلية الحركة . و لحصول على نسبة مرضية ، يجب أن تكون الزنبركات اللولبية ، على سبيل المثال ، قوية بقدر كاف لاحتجاز المؤشر فى الوضع الصحيح ، وبدقة ثابتة . وعلى الجانب الآخر ، فإن ذلك يعنى أن عزم اللى يجب أن يكون له أيضا قيمة معنية . بهذا ترتفع القدرة التى تتطلبها آلية الحركة إلى مستوى معين ، وهذا يبين أن آلية الحركة يجب أن تتطابق مع مطلبين :

١ – يجب أن يكون لآلية الحركة عامل جودة عال .

٢ – يجب أن تتطلب آلية الحركة أصغر كمية بقدر الإمكان من القدرة اللازمة للتشغيل .

والقدرة التى تتطلبها آليات الحركة فى الأميترات تكون أصغر كلما صغر حاصل ضرب المقاومة الداخلية $م_{د}$ للآلية فى مربع شدة التيار $ت_{١}$ ، عند الانحراف الكامل على التدريج ، وعليه تكون القدرة التى تتطلبها آلية الحركة .

$$ق_{١} = م_{د} \times ت_{١}^{٢} .$$

وبالتالى ، يكون للأميتر ذى متطلب القدرة الأقل مقاومة داخلية أقل .

والقدرة التى تتطلبها آليات الحركة المستخدمة فى الفلطمترات ، تكون أصغر إذا كانت المقاومة الداخلية لكل فلط أكبر . ويعبر دائما عن هذه التسمية $\frac{\Omega}{\text{فلط}}$.

النسبة $\frac{\Omega}{\text{فلط}}$	القدرة التى تتطلبها آلية الحركة $ت_{ا}$ بالملى أمبير
١٠٠	١٠,٠
٥٠٠	٢,٠
١٠٠٠	١,٠
١٠٠٠٠	٠,١

(ب) إطالة مدى القياس للفلطمترات :

تعين قيمة المقاومة الداخلية $م_{د}$ ، المتعلقة بمدى معين للقياس لجهد ج ، بواسطة تيار آلية الحركة $ت_{ا}$:

$$م_{د} = \frac{ج}{ت_{ا}} .$$

وإذا أعطيت الخواص المميزة لآلية الحركة $ت_{ا}$ ، $م_{د}$ ، يمكن حساب المقاومة $م_{ج}$ التى يجب إضافتها بالتوصيل على التوالى ، بالنسبة لمدى جهد معين ج ، وذلك من الصيغة :

$$م_{ج} = \frac{ج}{ت_{ا}} - م_{د}$$

مثـــال :

ما مقاومة التوالى لفلطمتر ، مدى قياسه من صفر إلى ٥٠٠ فلط ، إذا كانت المقاومة الداخلية $م_{د}$ = ١٠ ، وتيار آلية الحركة $ت_{ا}$ = ٨ ملى أمبير ؟

المعطيات : ج = ٥٠٠ فلط

$ت_{ا}$ = ٨ ملى أمبير

$م_{د}$ = ١٠ Ω

المطلوب : مقاومة التوالى $م_{ج}$

الحـل :

$$= \frac{ج}{أ_{ت}} - م_{د}$$

$$= \frac{٥٠٠ \times ١٠٠٠}{٨} - ١٠$$

$$= ٦٢٥٠٠ - ١٠$$

$$= ٦٢٤٩٠ \ \Omega$$

لكى يبين جهاز القياس جهد ٥٠٠ فلط عند إنحراف كامل على التدريج ، يجب توصيل مقاومة قيمتها ٦٢٤٩٠ Ω على التوالى مع آلية الحركة .

بالشكل ٢٤١ رسم تخطيطى لجهاز قياس بثلاثة مدى لقياس الجهود .

وحيث أن $م_{ج}$ هى نفسها المقاومة $م_{ج}$ ، بالمعادلة السابقة ، فيمكن تعيين مدى القياس الثلاثة بالطريقة التالية :

$$(١) \quad م_{ج١} = \frac{ج}{أ_{ت}} - م_{د}$$

$$(٢) \quad م_{ج٢} = \frac{(ج٢ - ج١)}{أ_{ت}}$$

$$(٣) \quad م_{ج٣} = \frac{(ج٣ - ج٢)}{أ_{ت}}$$

وإذا أريد إضافة مدى للقياس أخرى ، يمكن تعيين مقاومات التوالى الإضافية اللازمة ، وذلك بنفس الطريقة .

(ج) إطالة مدى القياس للأميترات :

إذا استخدم جهــاز القياس لإجراء قياسات لصالح المستهلك ، فى هــذه الحالة يجب أن يكون لجهــاز القياس مقاومة داخلية صغيرة جدا ، إذا استخدم كأميتر ، حيث أنه فى هذه الحالة يوصل على التوالى فى الدائرة الكهربائية . ومن قوانين الدوائر والشبكيات الكهربائية ،

نعلم أنه فى حالة توصيل مقاومتين على التوازى ، تكون المقاومة الإجمالية أصغر من أصغر مقاومة فردية . وعلى ذلك ، يكون من البديهى توصيل مقاومة أخرى على التوازى مع آلية الحركة ، وذلك لتعيين مدى القياس المستخدم لقياس شدة تيار معينة . وحيث أنه فى أغلب الأحيان تصنع لفات الملفات المتحركة من سلك من النحاس ، فإن كمية من الحرارة تتولد فى الملف الحامل للتيار ، تؤثر على المقاومة $\text{م}_{\text{د}}$. لهذا السبب ، فعند استخدام آليات حركة كأميترات يجب توصيل مقاوم $\text{م}_{\text{ج}}$ مصنوع من مادة لا تتأثر بالحرارة (مثل المنجنين) ، لها قيمة لا تقل عن $4 \times \text{م}_{\text{د}}$ ، وذلك على التوالى مع آلية الحركة . بالشكل ٢٤٢ رسم تخطيطى لدائرة أميتر .

وإذا رمز لمدى القياس ، المرغوب فيه لأميتر ، بالرمز ت ، يمكن إيجاد مقاومة التوازى $\text{م}_{\text{ن}}$ ، وذلك بالطريقة الآتية :

$$\text{م}_{\text{ن}} = \frac{(\text{م}_{\text{د}} + \text{م}_{\text{ج}})}{(\text{ت} - \text{ت}_{\text{م}})} \times \text{ت}_{\text{م}}$$

شكل ٢٤١ : فلطمتر بثلاثة مدى للقياس

١ – مدى القياس I مع $\text{م}_{\text{ج}1}$

٢ – مدى القياس II مع $\text{م}_{\text{ج}2}$

٣ – مدى القياس III مع $\text{م}_{\text{ج}3}$

٤ – آلية حركة .

مثـــال :

استخدمت آلية الحركة المستخدمة فى المثال السابق ، كأميتر بمدى قياس من صفر إلى ٠٫٥ أمبير . فما قيم مقاومات التوالى ومقاومات التوازى ؟

المعطيات : ت = ٠٫٥ أمبير

$\text{ت}_{\text{م}}$ = ٨ ملى أمبير

$\text{م}_{\text{د}} = 10\ \Omega$

المطلوب : $م_ج$ ، $م_ن$

الحـل :

$$(١)\quad م_ج = ٤ \times م_د = ٤ \times ١٠ = ٤٠ \ \Omega$$

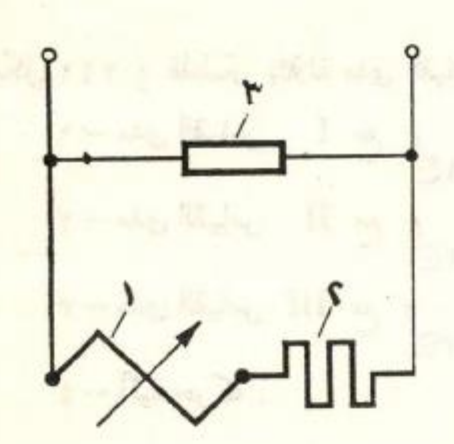
$$(٢)\quad م_ن = \frac{(م_د + م_ج)}{ت - ت_أ} \times ت_أ = \frac{١٠ + ٤٠}{٠{,}٥ - ٠{,}٠٠٨} \times ٠{,}٠٠٨$$

$$= \frac{٥٠}{{,}٤٩٢} \times ٠{,}٠٠٨$$

$$= ١٠١{,}٧ \times ٠{,}٠٠٨$$

$$\simeq ٠{,}٨١٤ \ \Omega$$

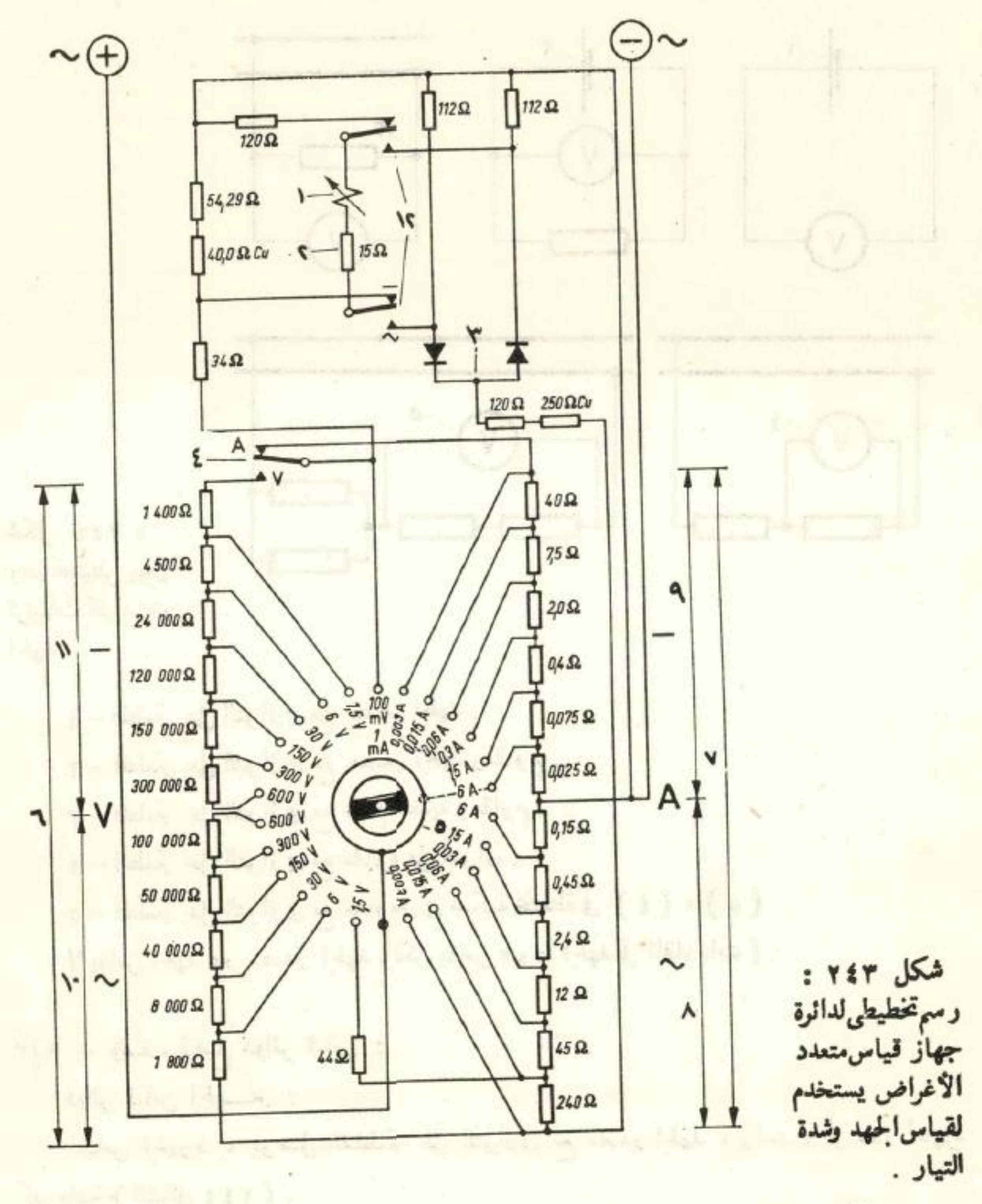
فى هذه الحالة ، تكون لمقاومات التوالى مقاومة قيمتها ٤٠ Ω ، ولمقاومات التواز مقاومة قيمتها حوالى ٠٫٨١٤ Ω ، إذا كان مدى قياس الأميتر من صفر إلى ٠٫٥ أمبير .



شكل ٢٤٢ : أميتر بمدى واحد للقياس
١ – آلية حركة .
٢ – مقاومة توالى $م_ج$
٣ – مقاومة توازى $م_ن$

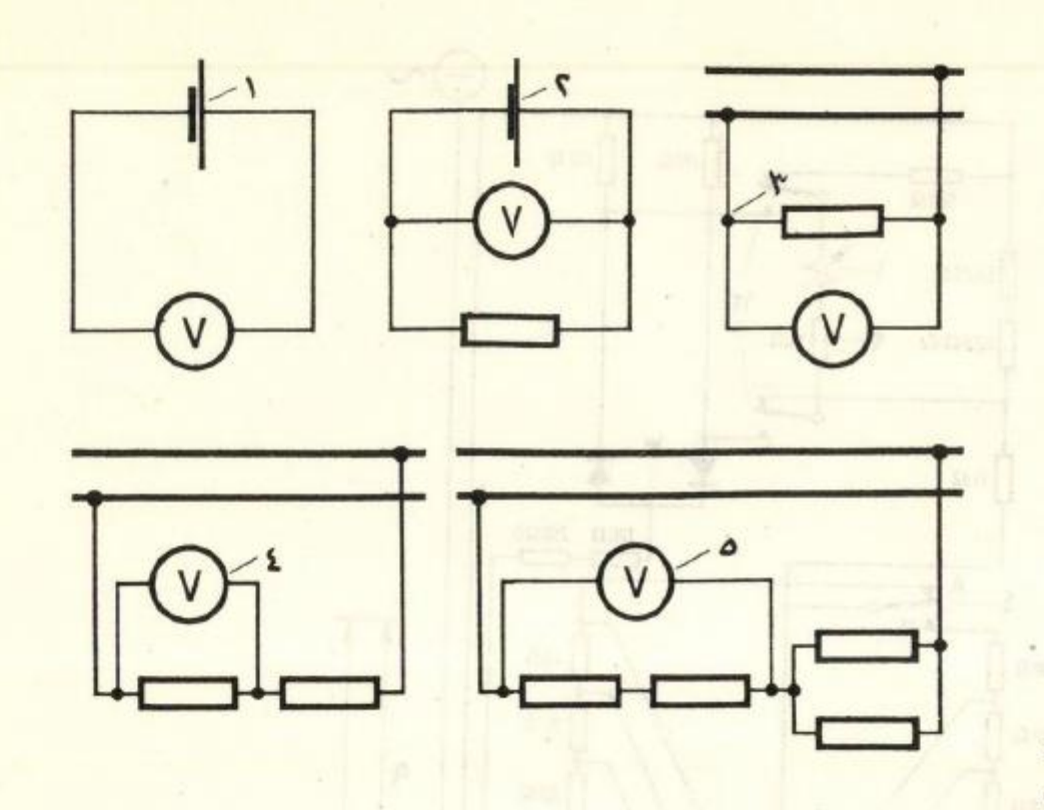
(د) جهاز القياس متعدد الأغراض للجهود وشدة التيارات :

يبين الشكل ٢١٩ جهاز قياس نقالى متعدد الأغراض ، وتوجد هذه الأجهزة بتصميات متعددة ، وبمدى للقياس مختلفة . بالشكل ٢٤٣ رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس متعدد الأغراض ، يستخدم لقياس الجهود وشدة التيارات ، ويستخدم هذا التصميم كثيرا فى أعمال الإصلاح .



شكل ٢٤٣ : رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس متعدد الأغراض يستخدم لقياس الجهد وشدة التيار .

١ – آلية حركة .
٢ – مقاومة توالى لآلية الحركة .
٣ – مقوم قياس .
٤ – مفتاح كهربائى مغير للجهد وشدة التيار
٥ – مفتاح كهربائى منتخب للمدى مضبوط للتيار المستمر بشدة لغاية ٦ أمبير .
٦ – مقاومات توالى لقياسات الجهد .
٧ – مقاومات توازى لقياسات التيار .
٨ – مدى التيار المتردد .
٩ – مدى التيار المستمر .
١٠ – مدى الجهد المتردد
١١ – مدى الجهد المستمر .
١٢ – مفتاح كهربائى مغير لآلية الحركة (عند تشغيل المفتاح الكهربائى المنتخب للمدى)، تشغل أيضا المفاتيح الكهربائية (٤) ، (١٢) .



شكل ٢٤٤ :
رسم تخطيطى يبين ترتيبات لقياسات الجهد

١ – فلطمتر على التوازى مع مصدر الجهد .
٢ – فلطمتر على التوازى مع مصدر الجهد ومقاوم .
٣ – فلطمتر على التوازى مع نظام التغذية ومقاوم .
٤ – فلطمتر على التوازى مع مقاوم على التوالى .
٥ – فلطمتر على التوازى مع مقاومين فى شبكية مختلطة ى (٤) ، (٥)
لا يقاس الجهد عبر مصدر الجهد ولكن يقاس هبوط الجهد فى المقاومات) .

٣/٩ – وصف لبضع دوائر قياس :

دوائر قياس الجهـــد :

لقياس الجهود ، يوصل الفلطمتر على التوازى مع مصدر الجهد ، واحد ، أو عدة أجهزة كهربائية (الشكل ٢٤٤) .

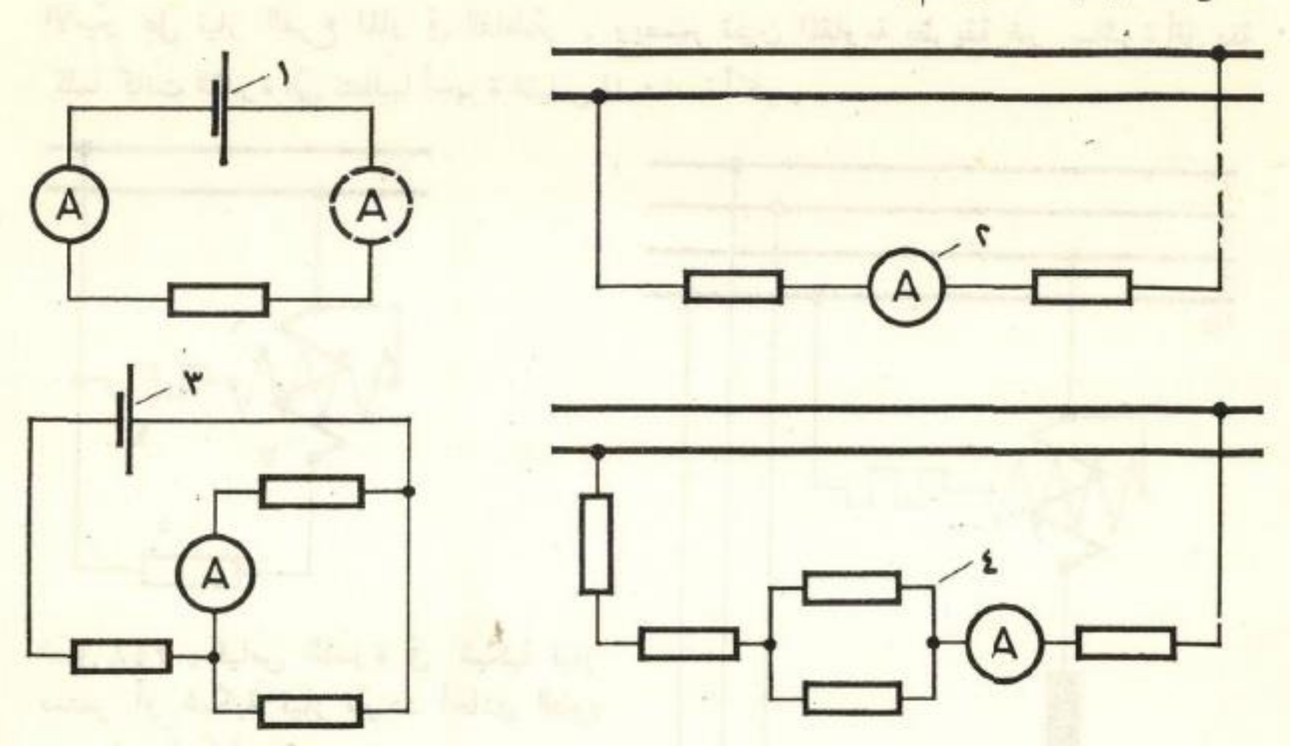
دوائر قياس التيـــار :

لقياس شدة التيارات ، يوصل الأميتر على التوالى مع أحد ، أو عدة أجهزة كهربائية (الشكل ٢٤٥) .

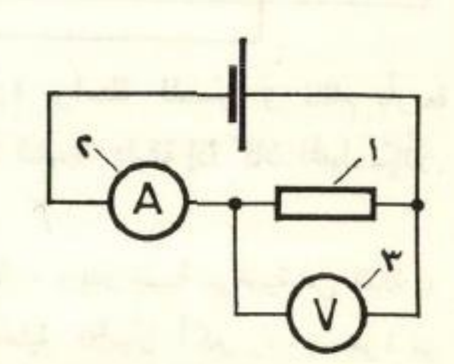
(ا) دوائر قياس للتأكد من قيم المقاومات بواسطة قياسات التيار والجهد :

تسمى قياسات المقاومات بواسطة جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع ، وبواسطة قنطرة المقاومة ، « بطرق قياس المقاومة المباشرة » . وتكون الطرق غير المباشرة ، هى الطرق التى

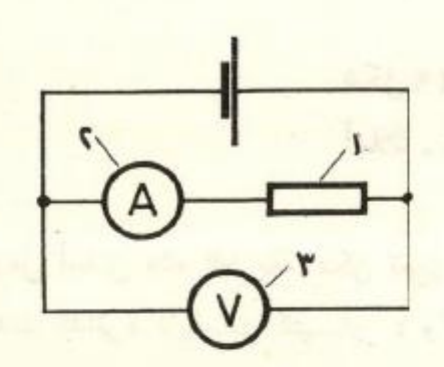
تحسب فيهـا الكمية المجهولة من كميتين مقاستين ، أو أكثر ، وكما هو معروف جيدا ، يمكن حساب المقاومة م من خارج قسمة $\frac{ج}{ت}$. وهذا يعنى، أنه إذا أمكن قياس الجهد وشدة التيار ، يمكن حساب قيمة المقاومة م .



شكل ٢٤٥ : رسم تخطيطى لدائرة تبين ترتيبات لقياسات التيار .
١ – أميتر على التوالى مع مقاوم . ٢ – أميتر على التوالى مع مقاومين .
٣ – أميتر موصل لقياس فرع من الدائرة . ٤ – أميتر فى شبكية مختلطة .



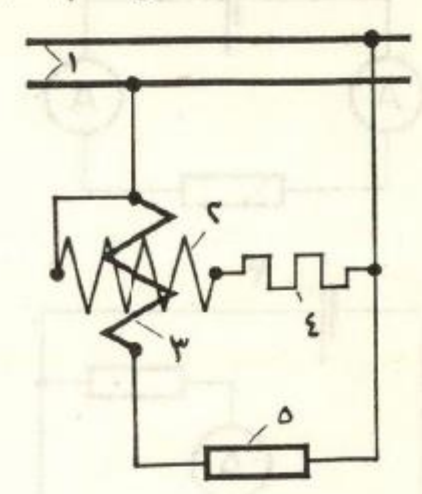
شكل ٢٤٦ : دائرة قياس مهيأة لقياسات الجهد
١ – المقاومة المراد قياسها .
٢ – أميتر .
٣ – فلطمتر .



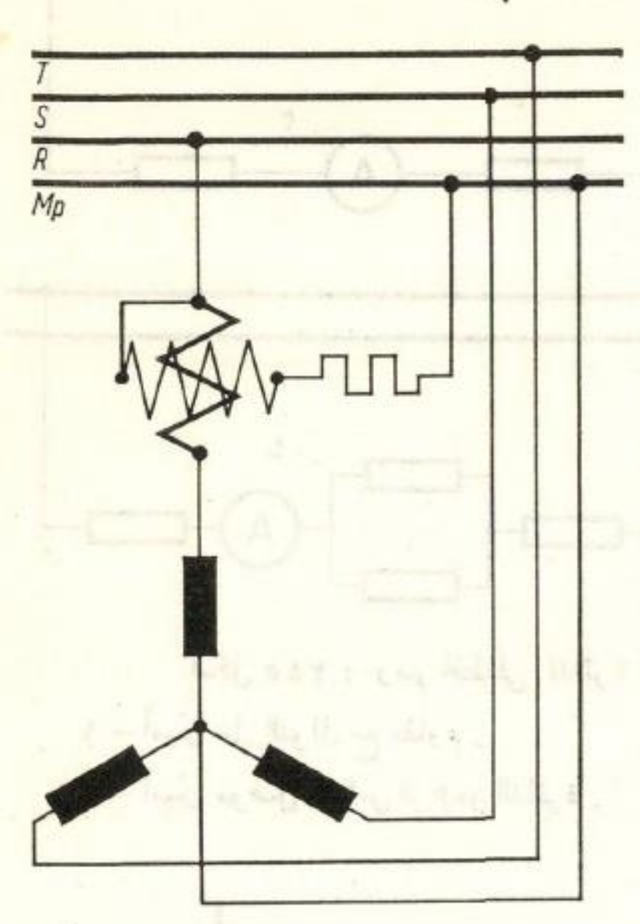
شكل ٢٤٧ : دائرة قياس مهيأة لقياسات التيار
١ القاومة المراد قياسها .
٢ – أميتر .
٣ – فلطمتر .

ويبين الشكلان ٢٤٦ ، ٢٤٧ تمثيلا لدائرتى قياس لتعيين المقاومة .

ومن هذه الأشكال ، يتبين أنه لا يمكن تجنب أخطاء القياس . وفى الشكل ٢٤٦ تشتمل قراءة الفلطمتر على الهبوط فى الجهد ، الذى يسببه الأميتر . وفى الشكل ٢٤٧ ، تشتمل قراءة الأميتر على تيار الفرع المار فى الفلطمتر . ويصبح تعيين المقاومة بطريقة غير مباشرة أقل دقة كلما كانت القدرة التى تتطلبها أجهزة القياس المستخدمة أكبر .



شكل ٢٤٨ : قياس القدرة فى شبكية تيار مستمر أو شبكية تيار متردد أحادى الطور
١ – شبكية .
٢ – ملف جهد لجهاز قياس القدرة .
٣ – ملف تيار لجهاز قياس القدرة .
٤ – مقاوم توالى .
٥ – جهاز كهربائى .

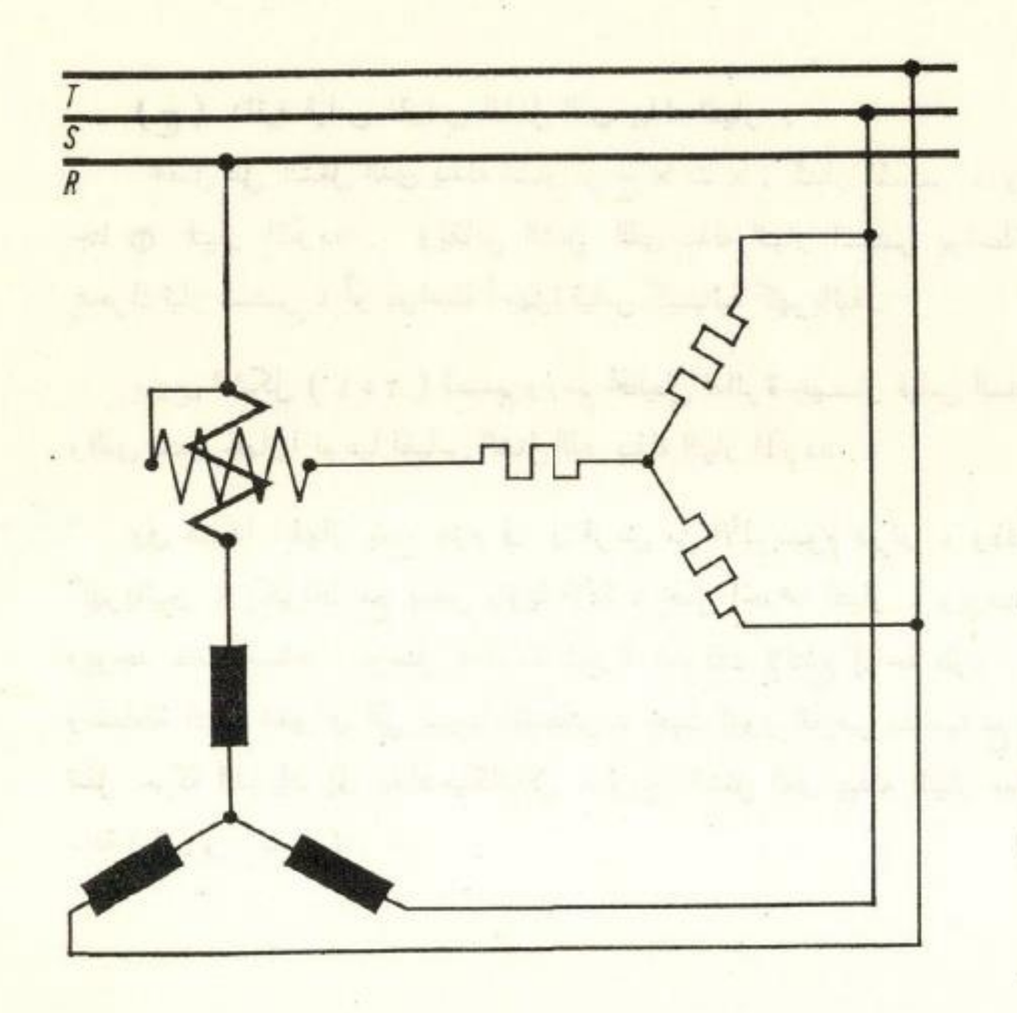


شكل ٢٤٩ : قياس القدرة بواسطة فلطمتر فى نظام بأربعة أسلاك . فى هذه الحالة تكون النتيجة دقيقة إذا كان المحول متماثلا.

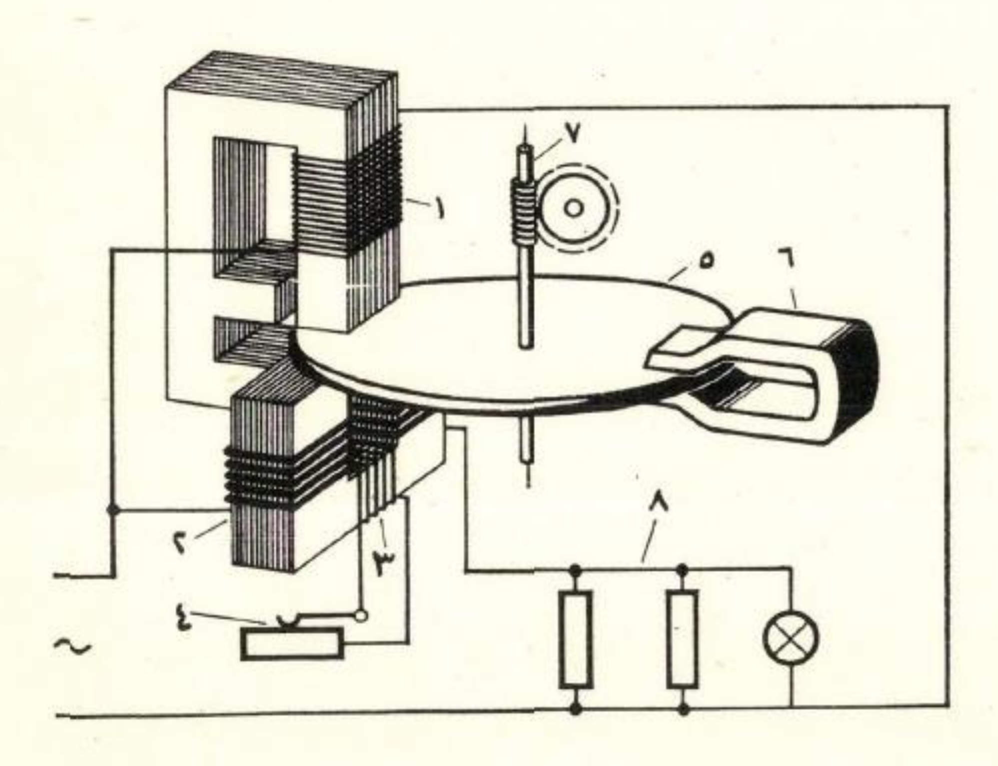
وعلى أساس هذه الطريقة يمكن تعيين المقاومات الأومية ، وبدرجــة مرضية من الدقة ، إذا أعدت الدائرة لقياسات التيــار ، وكانت المقاومة الداخلية للأميتر أكبر ١٠٠ مرة من أصغر قيمة من المقاومة المراد إيجادها . وفى حالة ترتيبة دائرة لقياسات الجهد ، تكون المقاومة الداخلية للفلطمتر أكبر ١٠٠ مرة من قيمة المقاومة المراد قياسها .

(ب) دائرة قياس لقياسات القدرة : (الشكل ٢٤٨)

وهى أجهزة قياس القدرة ، والتى تعرف أيضا بالواطمترات (الشكل ٢٤٩ والشكل١٢٥) ، وهى تشتمل على آليات حركة ديناميكية كهربائية ، ومقاوم توالى لملف الجهد .



شكل ٢٥٠ : قياس القدرة بواسطة فلطمتر فى نظام ثلاثة أسلاك ونقطة تعادل صناعية وفى هذه الحالة، تكون القيمة المقيسة دقيقة فقط إذا كان الحمل متماثلا .



شكل ٢٥١ : قياس الشغل الذى يبذله تيار بواسطة جهاز قياس حثى .

١ – ملف الجهد . ٢ – لفيفات مساعدة . ٣ – ملف تيار .
٤ – مقاوم متغير . ٥ – قرص ألومنيوم . ٦ – مغنطيس مضاءلة .
٧ – حلزون نقل للعداد . ٨ – أجهزة كهربائية .

(ج) دائرة قياس لقياس الشغل الذى يبذله التيار :

يحصل على الشغل الذى يبذله التيار من ج × ت × ز للتيار المستمر ، ومن ج × ت × ز × جتا Φ للتيار المتردد . ويقاس الشغل الذى يبذله التيار المستمر بواسطة جهاز قياس الساعة بمحرك تيار مستمر ، أو بواسطة أجهزة قياس كيميائية كهربائية .

ويبين الشكل (٢٥١) تصميم ورسم تخطيطى لدائرة جهـــاز قياس الساعة من النوع الحثى ، والذى يعتبر جهازا نوعيا لقياس الشغل الذى يبذله التيار المتردد .

وفى هـــذا الجهاز ينتج عزم لى فى قرص من الألومنيوم دوار ، وذلك بواسطة مغنطيسين كهربائيين ، يكونان مع بعض زاوية قائمة ، يحمل أحدهم التيار ، ويوصل الجهد عبر الثانى ، ويوجد ملف مساعد ،وصل بمقاومة متغيرة ، وذلك لإنتاج إزاحة طور . يضبط عزم اللى ، ومضاءلة التيار الدوامى التى يسببها المغنطيس ، بحيث تدور القرص متناسبا مع ج × ت × جتا Φ. تنقل حركة الدوران إلى عداد ميكانيكى ، ويبين الشغل الذى يبذله التيار معبرا عنه بالكيلو واط ساعة (ك . و . س .) .

via عن طريق
visible signal إشارة مرئية
voltage drop هبوط الفلطية
voltage source مصدر الجهد

wave موجة
wave filter مرشح موجة
wave guide دليل الموجة
wave length طول الموجة

weston normal cell
خلية ويستون الإمامية
windings لفيفات
wireless لاسلكى
wire wound resistor
مقاوم من السلك الملفوف
work شغل

zero position وضع الصفر

size مقاس – طراز
slot شقب
smelting furnace فرن صهر
socket outlet مخرج مقبس
soft iron حديد رخو (مطاوع)
specimen عينة
speed of rotation سرعة الدوران
spherical كروى
spot بقعة
stability اتزان – استقرار
star connection (star junction)
توصيلة نجمة
startability المقدرة على بدء الحركة
stationary ثابت
stator عضو ساكن
steatite إستيتيت (حجر صابونى)
strip خوصة
structure تركيب
switch gear مجموعة مفاتيح التشغيل
switching devices نبائط تشغيل المفاتيح
synchronization تزامن
synchronously بتزامن
system نظام

temporal مؤقت
tensile force قوة شد
rension توتر
terminal طرف توصيل
testing إختبار
therapy علم العلاج الطبى

three - phase ثلاثى الطور
thermal حرارى
thermistor ترمستور
thermoplastics لدائن حرارية
thermosetting plastics
لدائن مصلدة حراريا
time constant ثابت زمن
torque عزم لى
torsion balance ميزان إلتواء
toy motor محرك كهربائى دمية
transducer محول طاقة
transferring نقل
transformer محول
transformation تحويل
transient deflection إنحراف عابر
transmissibility منقولية (قابلية للنقل)
transmission نقل
transmitter مرسل
trigonometric مثلثية
trimming تشذيب المصبوبات
tubular أنبوبى
tuning oscillation دائرة موالفة التذبذبات
turns لفات
two - phase ثنائى الطور
type طراز

vacuum فراغ
variable متغير
vector متجه
velocity سرعة

precision دقة
press board ورق مضغوط
primary circuit دائرة ابتدائية
primary magnetomotive force
قوة دافعة مغنطيسية إبتدائية
propagation إمتداد – انتشار – انتقال
property خاصية
prototype meter متر إمامى

quotient خارج قسمة

radial فى اتجاه نصف القطر
range مدى
rate معدل
rated voltage جهد مقنن
reactance مفاعلة
rseactive غير فعال
reading قراءة
recording مسجل
reciprocal مقلوب
rectangle مستطيل
rectifier مقوم
reed ريشة
regulating switch مفتاح منظم كهربائى
relative permeability نفاذية نسبية
relay متابع – مرحل
remanence إستبقائية
rheostat ريوستات (مقاومة صغيرة)
rotating machine مكنة دوارة
rotor عضو دوار

repulsion تنافر
residual magnetism مغنطيسية متبقية
resistance مقاومة
resistance bridge قنطرة قياس المقاومة
resistivity مقاومية
resistor مقاوم

saturation تشبع
saturation limit حد التشبع
scale تدريج
scanning مسح
schematic representation
تمثيل تخطيطى
screening حجب
screwdriver مفك
secondary current
تيار ثانوى (تيار الملف الثانوى)
sector قطاع
selection إختيار
selector switch مفتاح إنتقاء كهربائى
self - induction حث ذاتى
semi - conductor شبه موصل
semolina صميذ
sensitive حساس
shaft عمود إدارة
short circuit دائرة قصر
short wave موجة قصيرة
sine جيب الزاوية
single phase أحادى الطور
sinusoidal جيبى

magnetic مغنطيسى
magnetic field strength
شدة المجال المغنطيسى
magnetism مغنطيسية
magnetite مغنطيت (حجر المغنطيس)
magnetization مغنطة — تمغنط
magnetized ممغنط
magnetometer
مغنطومتر (جهاز قياس شدة المجالات اللا كهربائية)
magnitude مقدار
measuring bridge قنطرة قياس
mechanical ميكانيكى
media أوساط
medium وسط
mesh circuit دائرة مقفلة
molecule جزئ
moving coil جهاز قياس بملف متحرك
moving iron instrument
جهاز قياس بحديدة متحركة
mutual متبادل

necked - down مخصر
negative charge شحنة سالبة
network شبكية
neutral point نقطة تعادل
non-conductor غير موصل
non-hardened غير صلد
ohmic resistance مقاومة أومية
oscillations تذبذبات
over lapping متراكب

palm راحة اليد
paper lining بطانة من الورق
parabolic heater مسخن بشكل قطع مكافئ
paramagnetic بارا مغنطيسى
peak value قيمة الذروة
peculiarities خصوصيات
pendulum بندول
period دورة
periodicity دورية
periodic time دورة (زمن دورى)
permanent دائم
permeability نفاذية
permissible مسموح به
phenomena ظاهرة
physician فيزيقى
physiological فسيولوجى
pivot محور ارتكاز
plastics لدائن
polarity قطبية
polarization إستقطاب
pole قطب
pole changer مغير القطب
portable نقالى
potentral difference فرق الجهد
potentiometer
بوتنشيومتر (مقاومة قياس فرق الجهد)
power factor عامل القدرة
power meter عداد القدرة
power station محطة القوى

helical spring	زنبرك لولبى
hertz	هيرتز (هز)
h.f. reciever	مستقبل تردد عالى
h.f. transmitter	مرسل تردد عالى
high frequency	تردد عال
homogeneous	متجانس
hourse shoe magnet	مغنطيس على شكل حدوة حصان
hypotenuse	وتر
hysteresis loop	منحنى أنشوطى للمغنطيسية المتبقية
immersion heater	مسخن غاطس
impregnated	مشرب بالزيت
incandescent	مصباح متوهج
inconformity	مطابق
indicating instrument	جهاز بين
indicator	مبين
indivisible	غير قابل للانقسام
induced current	تيار منتج بالحث
inductance	محاثة
inductive	حثى
inductor	محث
influence	تأثير
inhomogeneous	غير متجانس
in parallel	على التوازى
input	دخل
in series	على التوالى
installations	تركيبات
instantaneous	لحظى
insulation loss	فقد العزل
insulating material	مادة عازلة
interdependance	اعتماد متبادل (تبادل)
interference	تداخل
interlinking	توصيل متبادل
interrelation	علاقة متبادلة
intensity	شدة
ironless	لا حديدى
key switch	مفتاح كهربائى بذراع
knob	زر
lag	تخلف
laminated fabrics	رقائق قاش
laminated papers	رقائق ورق
lamp holder	دواة مصباح
leakage current	تيار تسرب
lever arm	ذراع الرافعة
limits of error	حدود الخطأ
lightening arrester	مانعة صواعق
linear	خطى
lines of flux	خطوط الفيض
live part	جزء مكهرب
load	حمل
longitudinal section	قطاع طولى
loop	حلقة
low voltage	جهد منخفض
mains	مأخذ رئيسى
magnet	مغنطيسى

electric charges شحنات كهربائية
electric field مجال كهربائى
electricity كهرباء
electricity engineering هندسة كهربائية
electric meter عداد كهربائى
electric power قدرة كهربائية
electrifiable قابل للتكهرب
electrification كهربة
electro - chemical process
عمليات كيميائية كهربائية
electrode إلكترود
electrodynamic ديناميكى كهربائى
electrolytic إليكتروليتى
electromagnet مغنطيس كهربائى
electromagnetic مغنطيس كهربائى
electrometer
جهاز قياس فرق الجهد الكهربائى
electromotive force قوة دافعة كهربائية
electron dificiency قصور لإلكترون
electron excess إلكترون زائد
electroscope
مكشاف كهربائى (إلكتروسكوب)
electrostatic إستاتيكى كهربائى
electrothermal switch
مفتاح حرارى كهربائى
element عنصر
elongation إستطالة
energy طاقة
equation معادلة – صيغة
equilibrium إتزان

equipments معدات
equivalent مكافئ
expansion تمدد
factor عامل
faulty connection
توصيلة خاطئة (بها عطل)
feed back تغذية مرتجعة
ferromagnetic substance
عنصر عالى الإنفاذية المغنطيسية
field مجال
filament resistor مقاوم فتيلة التسخين
finger contact ملامس الإصبع
flasher وحدة وماضة
flux فيض
foils رقائق
frequency تردد
function دالة
fundamentals أساسيات
galvanic cell
عمود جلفانى (خلية جلفانية)
gap ثغرة
generation توليد
generator مولد
geometric هندسى
glow lamp مصباح متوهج
graduation تدريج
harmonic oscillations تذبذبات توافقية

commutator	عضو تبديل
compact	متضام
conducting plate	لوح موصل
conductivity	موصلية
conductor	موصل
configuration	تشكيل
constant	ثابت
contactor	ملامس – زر تلامس
ontinuity	استمرارية
controlling	تحكم
converter	محول طاقة
coresheet	رقائق الصلب
cosine	جيب تام
coulomb's law	قانون كولوم
counter	عداد
cross - coil ohmmeter	جهاز قياس بالملفات المتقاطعة
crystalline	بلورى
erystal structure	تركيب بلورى
current intensity	شدة التيار
cycle	دورة
cylindrical	اسطوانى
damping	مضاءلة
decay	اضمحلال
decisive factor	عامل حاسم
deflection	انحراف
delta connection	توصيلة دلتا
density	كثافة
deposited	مرسب
deviation	انحراف
device	نبيطة
diagramatic	تخطيطى
diamagnetic	دايا مغنطيسى
dielectric	وسط عازل
dielectric strength	متانة العزل
dim light	ضوء خافت
direct current	تيار مستمر
disc	قرص
discharge lamp	مصباح تفريغ
displacement	إزاحة
divisibility	قابلية للتجزئة
division	قسم
drift velocity	سرعة الانسياق
driving energy	طاقة دافعة
duration	دوام
dynamic effect	تأثير ديناميكى
dynamo	دينامو
earthing	تأريض
earth leakage	تسرب للأرض
eddy currents	تيارات دوامية
effective length	طول فعال
efficiency	كفاءة – كفاية
elder pith electroscope	مكشف كهربائى بكرة من نخاع البلسان
electrical circuit	دائرة كهربائية
electrical potential	جهد كهربائى
electrical tension	جهد كهربائى
electric appliances	مستخدمات كهربائية (أجهزة تعمل بالكهرباء)

المصطلحات الفنية

absolute — مطلق
accumulators — مراكم
air gap — ثغرة هوائية
alloy — سبيكة
alternating — متردد
amber — كهرمان
ammeter — أميتر (جهاز قياس شدة التيار)
ampere balance — ميزان الأمبير
amplifier — مكبر
angular — زاوى
annealing furnace — فرن تلدين (تخمير)
antenna — هوائى
anticlockwise direction — اتجاه عكس عقارب الساعة
armature — عضو إنتاج
arrangements — ترتيبات
atom — ذرة
atomic theory — النظرية الذرية
attraction — تجاذب
asynchronous — لاتزامن
axle — محور
bar magnet — قضيب مغناطيسى
bushing insulator — عازل نفاذى
buzzer — زنان
calibration — معايرة
capacitance — مواسعة
capacitive reactance — مفاعلة سعوية
capacitive resistance — مقاومة سعوية
capacitor — مواسع (مكثف كهربائى)
casing — غلاف
cell switch — مفتاح خلايا كهربائى
ceramic — خزفى
charges — شحنات
charging by influence — شحن بالتأثير
choke coil — ملف كابح للتيار
eharacteristics — خصائص مميزة
circular path — ممر دائرى
circular section — مقطع دائرى
circuit arrangement — ترتيبة دائرة
circuit breaker — قاطع دائرة
circuit diagram — رسم دائرة
circuit elements — عناصر الدائرة
classifications — تصنيف
clockwise direction — اتجاه عقارب الساعة
clutches — قابض
coefficient — معامل
coercive — قوة قهرية
coercivity — قهرية
coil — ملف
coil frame — إطار الملف
communications — اتصالات

سلسلة الأسس التكنولوچية

١ – الجداول الفنية (–)
٢ – الكيمياء الصناعية
٣ – الرسم الفنى (–)
٤ – أشغال الخشب (التجارة)
٥ – التركيبات الكهربائية (× +)
٦ – هندسة السيارات (× +)
٧ – أشغال قطع المعادن (× +)
٨ – اللحام بالغاز حـ ١ (–)
٩ – اللحام بالغاز حـ ٢ (–)
١٠ – الالكترونات
١١ – المخرطة
١٢ – الأمان الصناعى
١٣ – براء التجميع
١٤ – هندسة الموتوسيكلات
١٥ – النظائر فى البحث والصناعة
١٦ – الأساسيات الكهربائية حـ ١
١٧ – الأساسيات الكهربائية جـ ٢ (×)
١٨ – هندسة الجرارات (×)
١٩ – أشغال المعادن (×)
٢٠ – اللحام بالغاز حـ٣ (×)
٢١ – صناعة النسيج (×)

(–) نفد وسيعاد طبعه
(+) طبعة ثانية
(×) تحت الطبع ويصدر تباعا .

مطابع الأهرام التجارية



أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الثانى



الأسس التكنولوجية

أساسيات الهندسة الكهربائية

مؤسسة الأهرام بالقاهرة
المؤسسة الشعبية للتأليف بليبزج

Edition Leipzig and Al-Ahram Cairo

الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الثانى

تاليف : هاينز جراف

ترجمة : المهندس أحمد مختار شافعى

المهندس إبراهيم يعقوب مطر

Printed by AL-AHRAM, CAIRO

هذا الكتاب هو الترجمة الكاملة لكتاب

ELECTRICAL ENGINEERING FUNDAMENTALS II

من سلسلة : **TECHNICAL FUNDAMENTALS**

تصـــدير

هذه السلسلة – الأسس التكنولوجية – ثمرة تعاون وثيق هادف بين دارين من أكبر دور النشر العالمية ، إحداهما دار النشر فى لايبزج Edition Leipzig ، والثانية مؤسسة الأهرام .

وقد تضافرت جهود الدارين على تحقيق النشر العربى لهذه السلسلة الرفيعة التى لقيت كتبها المنشورة بالإنجليزية والفرنسية والأسبانية إقبالا منقطع النظير . ولا عجب أن تنتق مؤسسة الأهرام هذه السلسلة بالذات لتكون طليعة نشاطها فى مجال النشر العلمى والتكنولوجى .

فالمتصفح لأى كتاب من كتب السلسلة ، أو المستعرض لعناوين الكتب التى صدرت منها حتى الآن ، يجد أن التخطيط لهذه السلسلة يقوم على تبصر عميق باحتياجات الطبقة العريضة من الملاحظين والفنيين الذين يمثلون عصب الإنتاج الصناعى ونوته الكامنة الحقيقية ، لذلك فإن دار النشر فى لايبزج قد عهدت إلى أعلام التأليف التكنولوجى فى جمهورية ألمانيا الديموقراطية بتصنيف كتب هذه السلسلة ، كما عهدت مؤسسة الأهرام إلى خيرة المهندسين ورجال العلم ممن لهم نشاط واسع فى مجال الترجمة الفنية للقيام بهذه المهمة .

وواقع الأمر أن فائدة هذه السلسلة غير مقصورة على الملاحظين والفنيين فحسب ، بل هى بالغة الأهمية أيضاً للمهندسين الذين يبتغون توسيع آفاق خبراتهم بالاطلاع على التخصصات الأخرى ، ولغير الفنيين الذين يريدون أن تتكامل معلوماتهم فى مختلف المجالات التكنولوجية .

أنور محمود عبد الواحد

المحتويات

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

هندسة الاتصالات السلكية و اللاسلكية

صفحة

مقـــدمة

سبق أن تناولنا فى الجزء الأول من كتاب « أساسيات الهندسة الكهربائية » شرح الأسس الفيزيقية والتكنولوجية لهندسة الكهربائية والجوانب المختلفة للفروع المتعلقة بهذا المجال .

وتعطى دراسة الجزء الأول ، المعلومات الفيزيقية الأساسية للكهرباء ، وكيفية قياس الكميات الكهربائية ، مع شرح أجهزة القياس المستخدمة وطرق اختبارها ومعايرتها .

وهذا الجزء الثانى يبحث فى مجالين واسعين من مجالات الهندسة الكهربائية هما :

« هندسة القوى الكهربائية » و « هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية »

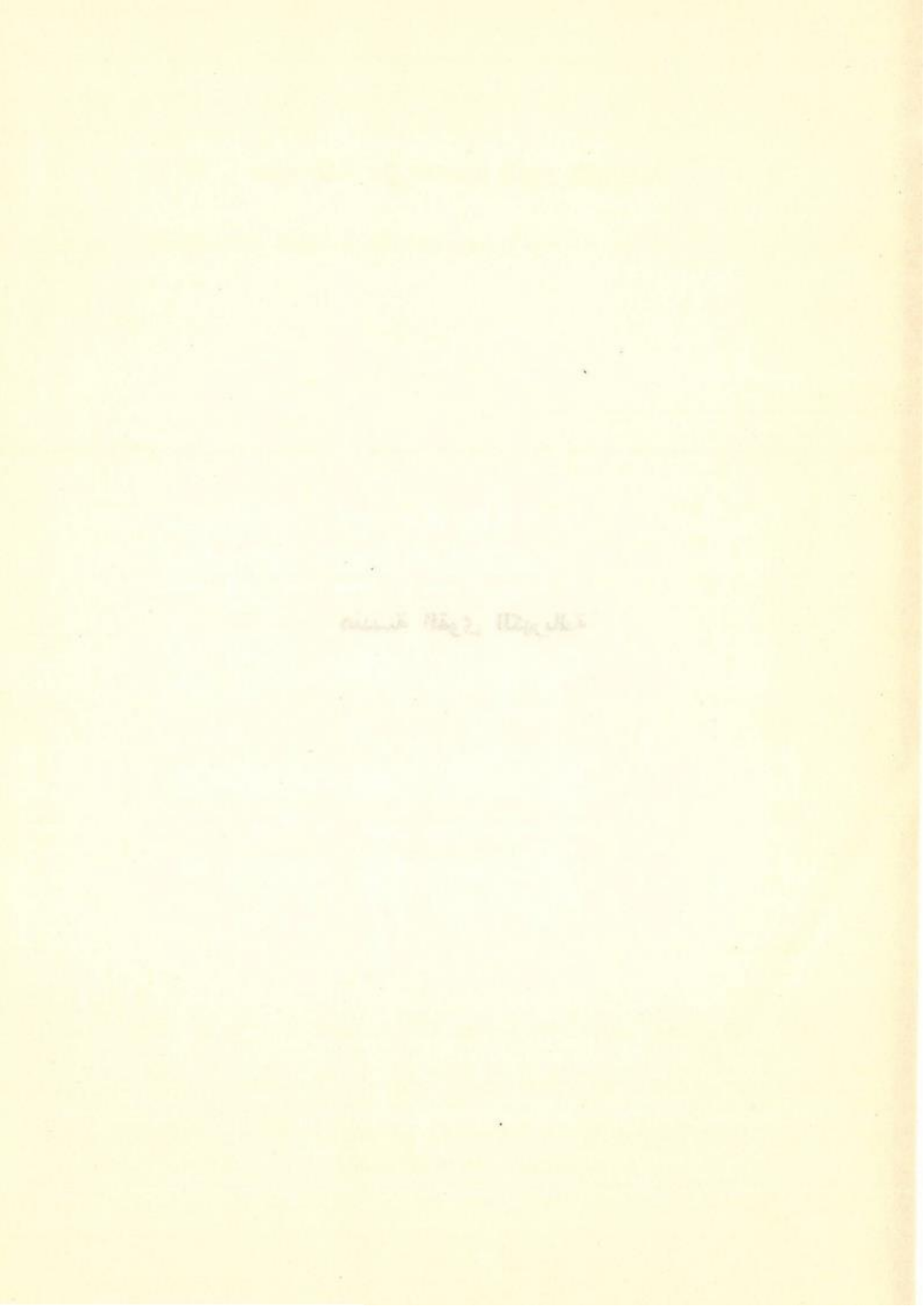
ويتناول القسم الخاص بهندسة القوى الكهربائية كيفية توليد الطاقة الكهربائية وتحويلها إلى أشكال أخرى من الطاقة .

أما القسم الخاص بهندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية (هندسة التيار الضعيف) فيتناول كيفية توصيل المعلومات بعد تحويلها إلى إشارات كهربائية ضعيفة من مكان إلى آخر .

وتقسيم الكتاب إلى هذين المجالين لا يعنى أنهما منفصلان عن بعضهما البعض ، بل على العكس من ذلك فإن كلا منهما يرتبط بالآخر ارتباطاً وثيقاً . فأى جهاز راديو أو تليفزيون يحتاج إلى كية من القدرة الكهربائية لاستقبال الإشارات الكهربائية الضعيفة وتحويلها إلى معلومات مسموعة أو مرئية . كما أن كثيراً من المحركات الكهربائية وتركيبات الإضاءة يتّم تنظيمها والتحكم فيها بواسطة مركبات كهربائية ذات قدرة دخل منخفض ، أى تعمل بتيار ضعيف . ويتضح من ذلك أن هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية وثيقة الصلة بهندسة القوى الكهربائية .

ويقدم هذا الكتاب دراسة مستفيضة فى الفروع المختلفة للهندسة الكهربائية وفى الأساسيات الكهربائية ، بحيث يمكن للقارئ ، مستعيناً بهذه المعلومات ، أن يتعرف بسهولة على طبيعة العلاقة التى تربط مجال « هندسة القوى الكهربائية » بمجال هندسة « الاتصالات السلكية واللاسلكية » (هندسة التيار الضعيف) .

هندسة القوى الكهربائية



نظرة عامة على هندسة القوى الكهربائية

يشمل مجال هندسة القوى الكهربائية الموضوعات الآتية :

– توليد الطاقة الكهربائية .

– نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية والتحكم فيها .

– تحويل الطاقة الكهربائية إلى أنواع أخرى من الطاقة .

وتغطى الموضوعات الثلاثة السابقة كل ما يتعلق بهندسة القوى الكهربائية ابتداء من « محطة توليد القدرة الكهربائية » ، حتى وصول الطاقة إلى المستهلك . فى محطة توليد القدرة الكهربائية تتحول الطاقة الميكانيكية ، أو طاقة المساقط المائية ، أو الطاقة الحرارية (الطاقة المتولدة نتيجة لاحتراق الفحم مثلا) إلى طاقة كهربائية . ومن هذه المحطة تنقل الطاقة الكهربائية ، وتوزع على المستهلكين . وفى الأجهزة والمعدات التى يستخدمها المستهلك تحول الطاقة الكهربائية إلى أى نوع آخر من الطاقة المطلوبة : ميكانيكية أو حرارية أو ضوئية .

توليد الطاقة الكهربائية :

تولد الطاقة الكهربائية بإحدى الطرق الآتية :

– آلات توليد الطاقة الكهربائية (المولدات) .

– الطرق الكيميائية لتوليد الطاقة الكهربائية (البطاريات) .

– الطرق الضوئية لتوليد الطاقة (الخلايا الكهرضوئية) .

آلات توليد الطاقة الكهربائية (المولدات) :

تولد الطاقة الكهربائية بكميات كبيرة فى محطات توليد القدرة الكهربائية.وتقسم المحطات تبعاً لنوع الطاقة التى تقوم بدفع المحرك الأولى إلى :

(ا) محطات حرارية : يدار فيها المحرك الأولى باستخدام الطاقة الناتجة من احتراق الوقود .

(ب) محطات هيدروليكية : يدار فيها المحرك الأولى باستخدام الطاقة الناتجة من وجود فرق بين منسوبى المياه فى مجرى النهر .

(ج) محطات هوائية : يدار فيها المحرك الأولى باستخدام تيار الهواء .

الطرق الكيميائية لتوليد الطاقة الكهربائية (البطاريات) :

تولد الطاقة الكهربائية بكميات صغيرة بالطرق الكيميائية بواسطة البطاريات والمراكم . وتنقسم المراكم عادة إلى :

(ا) مراكم قلوية : سائلها الإلكتروليتي قلوى .

(ب) مراكم حمضية : سائلها الإلكتروليتي حمضي .

الطرق الضوئية لتوليد الطاقة الكهربائية (الخلايا الكهرضوئية) :

تولد الطاقة الكهربائية بكميات صغيرة جداً باستخدم عناصر حساسة للضوء يطلق عليها اسم « الخلايا الكهرضوئية » .

ولقد تناولنا بالشرح المولدات والبطاريات فى قسم هندسة القوى الكهربائية، بينما تناولنا موضوع الخلايا الكهرضوئية فى قسم هندسة التيار الضعيف (هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية) .

نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية :

تنقل الطاقة الكهربائية بواسطة خطوط تغذية بنظام جهد عال ، ثم يخفض هذا الجهد العالى بواسطة محولات القدرة ، وبعد ذلك توزع الطاقة بواسطة خطوط تغذية بنظام جهد منخفض ، حتى يصل إلى المستهلك . ويطلق على خطوط التغذية هذه عادة اسم « شبكة النقل والتوزيع » .

وسائل التحكم فى الطاقة الكهربائية

تستخدم وسائل التحكم فى نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية لعملية الإشراف والتحكم والحماية وتنقسم إلى :

١ – وسائل تحكم فى الجهد المنخفض .

٢ – وسائل تحكم فى الجهد العالى .

أجهزة تحويل نوع من الطاقة الكهربائية إلى أنواع أخرى من الطاقة :

يشمل هذا القسم المعدات والآلات المستخدمة فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى أنواع أخرى من الطاقة ، وتنقسم إلى :

أولا : أجهزة تحويل نوع من الطاقة الكهربائية إلى نوع آخر من الطاقة الكهربائية :

يشمل هذا الباب المحولات والمغيرات والمقومات . . . . إلخ ، والتى تقوم بتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر والعكس ، أو بتحويل التيار أو الجهد من قيمة معينة إلى قيمة أخرى .

ثانياً : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية :

ويتضمن هذا الباب شرحاً وافياً المحركات الكهربائية والمغنطيسات الرافعة التى تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية .

ثالثاً : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية :

تناولنا فى هذا الباب كيفية استخدام التحليل الإلكتروليتى لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية لاستخدامها فى عمليات الجلفنة وطلاء المعادن ، وفى عمليات الترسيب الكهربائى لاستخراج النحاس النقى والفلزات الأخرى .

رابعاً : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية :

ناقشنا فى هذا الباب استخدام المصابيح بأنواعها المختلفة لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية ، مثل المصابيح المتوهجة والمصابيح المتألقة ومصابيح الصوديوم . . . . إلخ .

خامساً : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية :

أوجزنا فى هذا الباب كيفية استخدام المقاومات والأفران الكهربائية وطرق الحث الكهرمغنطيسى والإشعاعات ، لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية .

وقد أعطينا بهذا الموجز فكرة عامة عن هندسة القوى الكهربائية التى سنتناولها بالشرح ، علماً بأن هذا الكتاب لا يبحث فى العمليات الصناعية الخاصة بتصنيع المحركات الكهربائية أو أى طراز من الآلات الكهربائية ذات الكفاءة العالية ، أو وصف المصانع التى تستطيع إنتاج مئات المصابيح المتوهجة فى أقل فترة من الزمن . وإنما يتناول وصف وشرح التصميمات وطرق التشغيل ومجال استخدام المحولات والمحركات ومعدات الطاقة الكهربائية بأنواعها المختلفة .

الباب الأول
آلات توليد الطاقة الكهربائية
(المولدات)

(١) عـام :

تولد الطاقة الكهربائية فى محطات توليد القدرة بواسطة آلات كهربائية دوارة ، يطلق عليها اسم المولدات . وتتركب جميع أنواع المولدات من عضو ساكن (ثابت) ، وعضو دوار . يدار العضو الدوار عادة بواسطة آلـة تسمى المحرك الأولى .

ويطلق اسم « الدينامو » على المولدات الصغيرة المستخدمة فى تغذية النظام الكهربائى للسيارات والدراجات . ويتميز الدينامو عن المولدات المستخدمة فى محطات توليد القدرة الكهربائية بصغر حجمه وانخفاض قدرة خرجه .

(٢) تصنيف المولدات تبعا لكيفية إثارتها :

تنبنى نظرية المولد على القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية المتولدة بالحث فى الملفات الموجودة على عضو الإنتاج (العضو الدوار) ، حيث تقطع هذه الملفات أثناء دورانها خطوط القوى المغنطيسية الناشئة من مغنطيس دائم مثل ذلك المستخدم فى حالة الدينامو ، أو من مغنطيس كهربائى مثل ذلك المستخدم فى حالة المولدات الكبيرة . وتسمى المغنطيسات الكهربائية عادة مغنطيسات المجـال .

ويطلق خبراء تصميم الآلات الكهربائية على طرق تغذية ملفات مغنطيسات المجال بالتيار الكهربائى اسم « الإثارة » أو « إثارة المولدات » .

وتقسم المولدات عادة تبعاً لكيفية إثارة ملفات مغنطيسات المجال إلى :

(أ) مولدات بإثارة منفصلة ،

(ب) مولدات بإثارة ذاتية تلقائية ،

(ج) مولدات بإثارة ذاتية .

(أ) مولدات باثارة منفصلة :

يوضح شكل (١) الفكرة الأساسية للإثارة المنفصلة ، وتتلخص فى توصيل ملفات إثارة مغنطيسات المجال بمصدر منفصل للطاقة لتغذيتهـا بالتيار اللازم لعملية الإثارة .

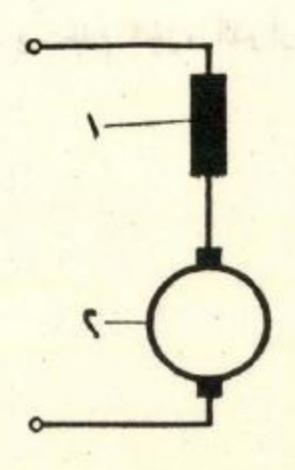
وقد يكون هذا المصدر بطارية أو دينامو أو أى مصدر للتيار المستمر .

الشكل (١) مولد بإثارة منفصلة
١ – مغنطيسيات المجال وحولها ملفات الإثارة
٢ – مصدر منفصل للطاقة الكهربائية

الشكل (٢) مولد بإثارة تلقائية
١ – المولد الرئيسى
٢ – مولد تيار مستمر يستخدم لعملية الإثارة فقط
٣ – رمز تخطيطى لعملية الإثارة التلقائية

(ب) مولدات بإثارة ذاتية تلقائية :

يوضح شكل (٢) الفكرة الأساسية للإثارة الذاتية التلقائية . وتتلخص فى تركيب مولد صغير للتيار المستمر على عمود إدارة المولد الأساسى بحيث يدور المولدان معاً . ويستخدم التيار المستمر الناتج من المولد الصغير لتغذية ملفات الإثارة للمولد الأساسى .



الشكل (٣) مولد بإثارة ذاتية
١ – ملفات المجال موضوعة بالعضو الساكن
٢ – ملفات العضو الدوار .

(ج) مولدات بإثارة ذاتية :

وجد « فيرنر سيمنز » (١٨١٦ – ١٨٩٢) أنه يمكن أن تتم الإثارة الذاتية لمولد تيار مستمر ، عندما تكون ملفات عضوه الساكن ، وملفات عضوه الدوار متصلة معاً على التوازى ، وموصلة على التوالى بالأجهزة أو التركيبات الكهربائية المطلوب استخدام التيار فيها ، كما هو مبين بالشكل (٣) . وفى هذه الحالة تنتج الإثارة الذاتية عندما يدور العضو الدوار بين المغنطيسات الكهربائية التى لها قلوب حديدية سبق مغنطتها .

فمن المعروف أن القلوب الحديدية تحتفظ بجزء من المغنطيسية يطلق عليها اسم « المغنطيسية المتبقية » . ويتبقى هذا الجزء بعد عملية المغنطة الأولى وبعد انقطاع التيار عن الملفات المحيطة بها . وتفيد هذه المغنطيسية المتبقية بعد ذلك فى إيجاد مجال مغنطيسى يكفى على كل حال لكى ينتج بالحث قوة دافعة كهربائية منخفضة فى ملفات عضو الإنتاج عند بدء دورانه . وتؤدى هذه القوة الدافعة الكهربائية بدورها إلى مرور تيار فى ملفات الإثارة الموصلة على التوالى بالأجهزة، الأمر الذى تنتج عنه زيادة الفيض (التدفق) المغنطيسى لمغنطيسات المجال ،، بالتالى إلى زيادة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالحث فى عضو الإنتاج . وهكذا يزداد التدفق المغنطيسى تبعاً لتزايد شدة تيار الإثارة إلى أن تصل الدائرة المغنطيسية إلى حالة التشبع . ويطلق على ظاهرة « الإثارة الذاتية » أيضاً اسم « الظاهرة الدينموكهربية » .

وتتميز المولدات ذات الإثارة الذاتية بأنها أقل أنواع المولدات تكلفة سواء فى صناعتها أو صيانتها .

المولدات ذات القطب الداخلى ، والمولدات ذات القطب الخارجى :

يمكن وضع مغنطيسات المجال للمولدات إما بالعضو الساكن أو العضو الدوار .

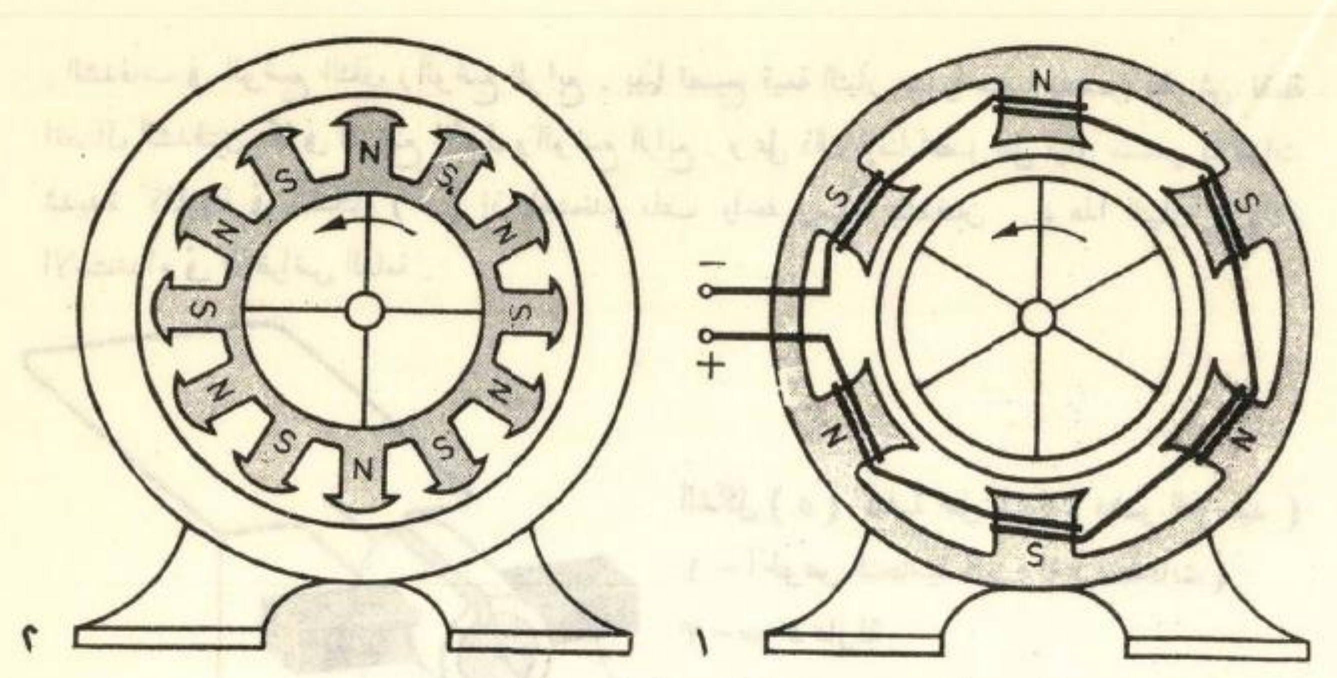
وتعرف المولدات بأنها ذات قطب خارجى إذا كانت ملفات الإثارة موجودة بالعضو الساكن . أما إذا كانت ملفات الإثارة موجودة بالعضو الدوار ، فيعرف المولد بأنه ذا قطب داخلى . وأكثر مولدات التيار المتردد (بما فى ذلك المولدات الثلاثية الأطوار) آلات ذات قطب داخلى . أما مولدات التيار المستمر فهى عادة آلات ذات قطب خارجى ، حيث يستخدم الجزء الدوار فى توليد التيار المستمر .

يبين الشكل (٤) هذين النوعين من المولدات .

وتقسم المولدات عادة من حيث نوع التيار الذى تقوم بتوليده إلى :

أولا : مولدات التيار المستمر .

ثانياً : مولدات التيار المتردد .



الشكل (٤) آلات بأقطاب خارجية وآلات بأقطاب داخلية
١ – آلات بأقطاب خارجية .
٢ – آلات بأقطاب داخلية .

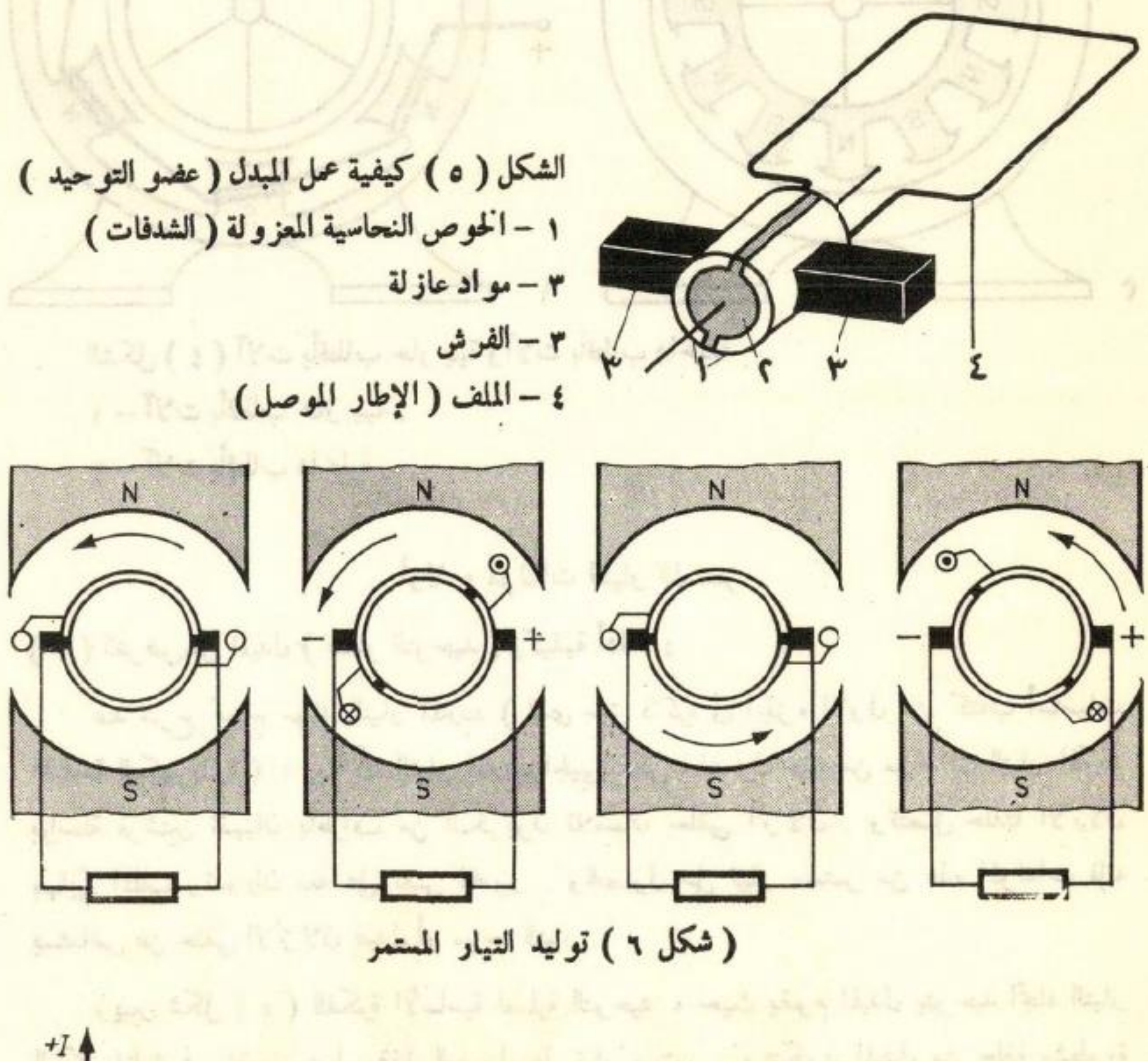
أولا : مولدات التيار المستمر

(٣) الغرض من المبدل (عضو التوحيد) وكيفية أدائه :

عند شرح نموذج مولد التيار المتردد (الذى سبق ذكره فى الجزء الأول من كتاب أساسيات الهندسة الكهربائية) ، بينا أن التيار المتردد الجيبى يمكن الحصول عليه من مولدات التيار المتردد بواسطة فرشتين تنتهيان بأطراف من الكربون تلامسان حلقتى انزلاق . وتتصل حلقتا الانزلاق بنهايتى الملف وتدوران معه على نفس المحور . وللحصول على تيار مستمر من هذه المولدات فإنه يستعاض عن حلقتى الانزلاق بمبدل أو موحد للتيار .

ويبين شكل (٥) الفكرة الأساسية لعملية التوحيد ، حيث يقوم المبدل بتوحيد اتجاه التيار الناتج بالحث فى ملف موصل مقفل للحصول على تيار مستمر . ويتكون المبدل من حلقة مشطورة إلى نصفين معزولين ، أو خوصتين معزولتين يطلق على كل واحدة منهما اسم « شدفة » . وتتصل كل شدفة منهما بإحدى نهايتى الملف . وينزلق المبدل على فرشتين ثابتتين . وعندما يدور الملف تلامس كل فرشة نصفى الحلقة بالتناوب ، وبذلك يخرج من الفرشتين تيار مستمر يسرى فى اتجاه واحد . ويبين الشكل (٦) دورة من دورات عضو إنتاج بملف واحد مقفل ومبدل بشدفتين فى أربعة أوضاع (لحظات) مختلفة . ومن هذا الشكل يتضح أنه إذا كانت الدائرة الخارجية مقفلة فإن التيار المتولد يمر فى اتجاه واحد فقط . أى عند توصيل أى جهاز بين الطرفين (١) ، (٢) فإن التيار يكون له قيمة كبيرة ، ويمر دائماً من النهاية (١) إلى النهاية (٢) عندما تكون الفرش

ر الشدفات فى الوضع الثانى والوضع الرابع . بينما تصبح قيمة التيار صفراً عندما تلامس الفرش نقطة اتصال الشدفتين كما فى الوضع الأول والوضع الرابع . وعلى ذلك فإننا نحصل على تيار مستمر بنبضات شديدة كالمبينة فى الشكل (٧) إذا استخدم ملف واحد ومبدل بشدفتين . وهذا التيار لا يلائم الاستخدام فى الأغراض العامة .



الشكل (٥) كيفية عمل المبدل (عضو التوحيد)
١ – الخوص النحاسية المعزولة (الشدفات)
٣ – مواد عازلة
٣ – الفرش
٤ – الملف (الإطار الموصل)

(شكل ٦) توليد التيار المستمر

الشكل (٧) تيار مستمر نبضى

ويمكن الحصول على تيار مستمر منعم أملس خال من النبضات ، يصلح للأغراض العامة ، باستخدام مولد له عضو إنتاج به عدة أزواج من الملفات بدلا من ملف واحد . ويستخدم مع عضو الإنتاج فى هذه الحالة مبدل مكون من عدد من الشدفات (الخوصات المعزولة) مساو لعدد الملفات الموجودة فى عضو الإنتاج .

(٤) التصميم الميكانيكى لمولد تيار مستمر :

يبين شكل (٨) مولداً للتيار المستمر . ويتكون عادة من الأجزاء الرئيسية التالية :

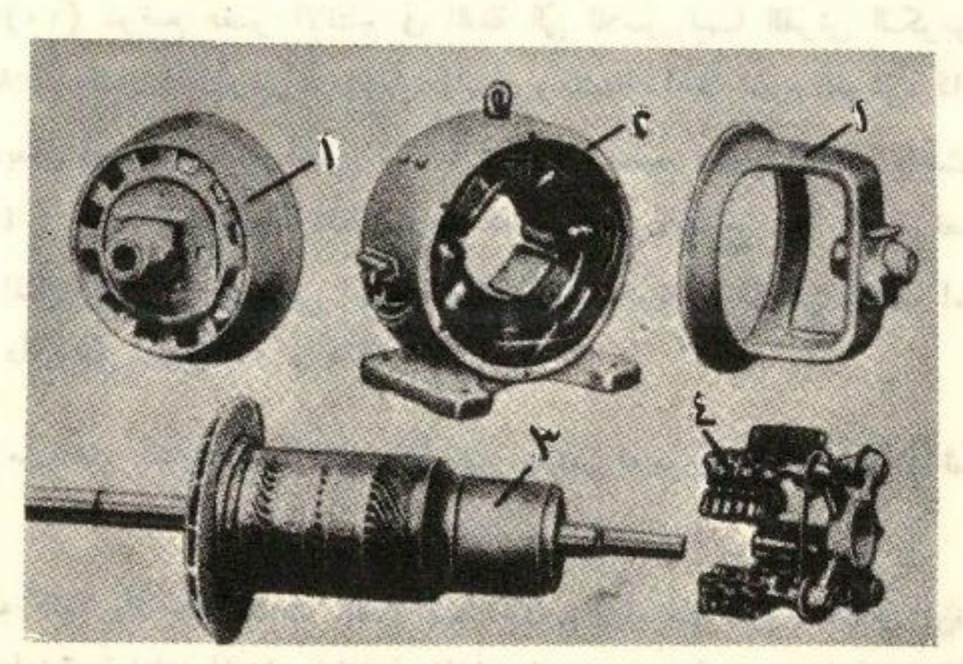
- مسندان لكراسى التحميل يرتكز عليهما عمود الإدارة لعضو الإنتاج .
- إطار مثبت بداخله العضو الساكن ومغنطيسات المجال وحولها ملفات الإثارة .
- عضو إنتاج أسطوانى الشكل مصنوع من رقائق من الحديد السيليكونى، فيه مجار توضع بداخلها الملفات التى يتولد بها التيار بالحث الكهرمغنطيسى .
- حامل الفرش وبداخله فرش كربونية لتوصيل التيار المتولد إلى الدائرة الخارجية .

يصنع المسندان عادة من الزهر المسبوك ، ويستخدمان فى تثبيت كراسى التحميل التى يرتكز عليها عمود إدارة عضو الإنتاج . وتفيد كراسى التحميل فى تسهيل دوران عضو الإنتاج مع بقائه متمركزاً مع الإطار ومغنطيسات المجال .

ويصنع الإطار عادة من الصلب المسبوك. ويستخدم فى حمل مغنطيسات المجال وكراسى التحميل .

أما عضو الإنتاج فيصنع من رقائق من ألواح الدينامو . وألواح الدينامو عبارة عن سبيكة من الصلب الطرى المحتوى على نسبة من السيليكون ، ويغطى سطحها من الخارج مادة عازلة . ويفيد السيليكون والمادة العازلة فى الحد من التيارات الدوامية التى تتولد بالحث فى الحديد أثناء الدوران .

ويزود عضو الإنتاج بمجار يوضع بداخلها الملفات التى يتولد بها التيارات بالحث الكهرمغنطيسى ، كما يزود عضو الإنتاج أيضاً بعمود إدارة لتسهيل دورانه. ويحمل عمود الإدارة المبدل (عضو التوحيد) ، ومروحة تبريد فى بعض الأحيان .



الشكل (٨) الوحدات التى يتركب منها مولد التيار المستمر
١ – حامل كراسى التحميل ٣ – عضو الإنتاج الأسطوانى
٢ – الإطار الرئيسى للمولد وبه مغنطيسات المجال ٤ – حامل الفرش

(٥) التيار المستمر المتولد من عضو إنتاج بأربعة ملفات :

سبق أن بينا أن التيار المستمر الذى نحصل عليه من عضو إنتاج أسطوانى بملف وحيد وبمبدل بشدفتين فقط هو تيار مستمر بنبضات شديدة . وللحصول على تيار مستمر منعم (أملس) به عدد قليل من النبضات ، يستخدم مولد له عضو إنتاج أسطوانى به عدد كبير من الملفات . ويبين الشكل (٩) عضو إنتاج بأربعة ملفات موصلة على التوالى ، على أن توصل نقطة اتصال طرفى كل ملفين متتالين بإحدى شدفات المبدل الأربعة . وعند دوران عضو الإنتاج فى الاتجاه المبين فى الشكل يتولد بالحث فى الملفين (١ ، ٢) جهد له نفس قيمة الجهد المتولد فى الملفين (٣ ، ٤) . وحيث أن الملفين (١ ، ٢) ، (٣ ، ٤) ، متصلان على التوازى وموصلان بالدائرة الخارجية . فإن جهد المو لد الرئيسى يساوى الجهد المتولد فى الملفين (١ ، ٢) أو (٣ ، ٤) ، حيث أنهما متساو يان .

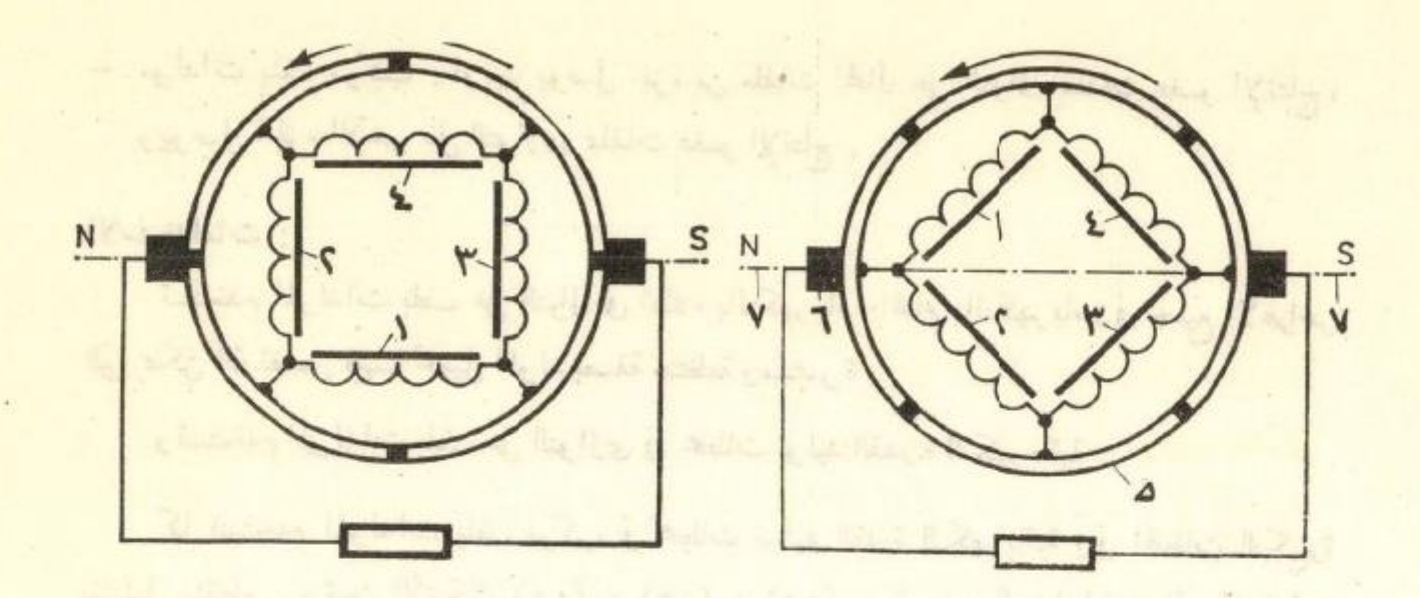
أما التيار الناتج فى هذه الحالة والمـار فى الدائرة الخارجية فإنه يساوى مجموع التيارين المتولدين فى الملفين (١ ، ٢) ، (٣ ، ٤) .

ومن هنا يتضح أن قيمة كل من الجهد والتيار فى أى مولد تعتمد على عدد الملفات المقفلة الموجودة بعضو الإنتاج . فيزيد الجهد بزيادة عدد الملفات المتصلة على التوالى، ويزيد التيار بزيادة عدد الملفات المتصلة على التوازى .

ويبين شكل (١٠) موضع عضو الإنتاج فى اللحظة التى تلامس فيهـا الفرش الـكربونية النقطتين اللتين تفصلان شدفتين متجاورتين من شدفات المبدل. وعند هذه اللحظة تقوم الفرش، كما هو واضح من الشكل، بعمل قصر دائرة على الملفين (٢ ، ٣) ، وتصبح الجهود المتولدة بالحث فى الملفين (١ ، ٤) هى الجهود الفعالة فقط . وعند دوران عضو الإنتاج ٩٠° أخرى تصبح الجهود المتولدة فى الملفين (٢ ، ٣) هى الجهود الفعالة فقط . وتقوم الفرش فى هذه الحالة الأخيرة بعمل قصر دائرة على الملفين (١ ، ٤) .

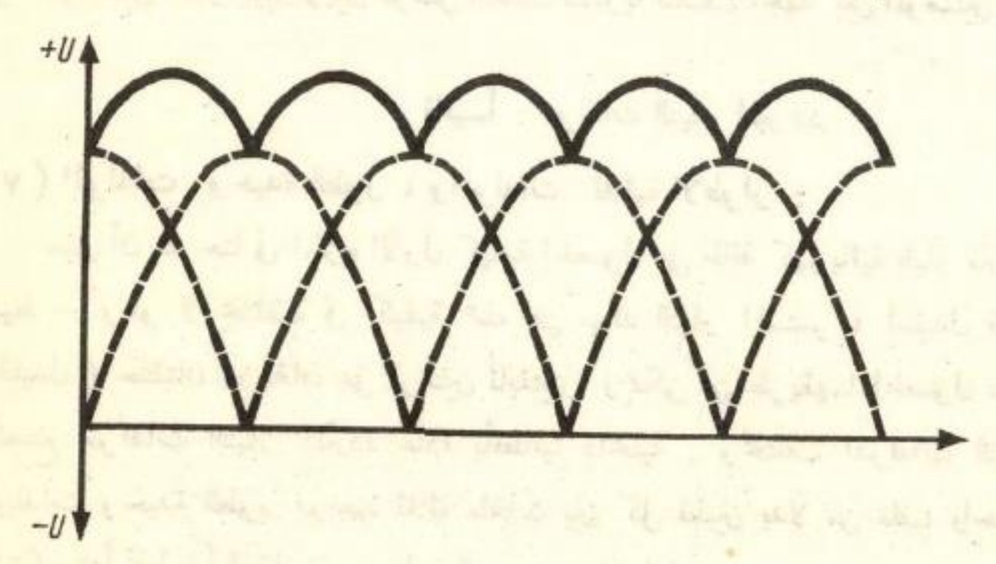
وبذلك نحصل من عضو إنتاج بأربعة ملفات على تيار مستمر له موجة كتلك المبينة فى شكل (١١) .

ومنه يتضح أنه كلما زاد عدد الملفات زادت قيمة الجهد والتيار المتولدين بالحث فى المولد . غير أنه لا يمكن زيادة قيمة الجهد المتولد بالحث فى المولد على حد معين (٦٠٠٠ فولت) لتأثر عزل المبدل والملفات بالجهود العالية ، بالإضافة إلى حدوث وميض عابر بين الشدفات ، أى وميض يعبر العازل بين الشدفات المتجاورة فى المبدل .



الشكل (٩) تمثيل تخطيطى لترتيب الملفات الأربعة على عضو الإنتاج الأسطوانى
(١ ، ٢) ، (٣ ، ٤) تمثل الملفات الأربعة
٥ – الخوص المعزولة (الشدفات)
٦ – الفرش ٧ – المحور المغنطيسى

الشكل (١٠) وضع عضو الإنتاج الاسطوانى بالنسبة للفرش فى حالة نقص الجهد .



الشكل (١١) عملية تنعيم التيار المستمر بعد التخلص من التموجات .

(٦) تصنيف المولدات تبعا لكيفية توصيل ملفات المجال بملفات عضو الإنتاج :

تقسم مولدات التيار المستمر ، تبعاً لكيفية توصيل ملفات مغنطيسات المجال بملفات عضو الإنتاج ، إلى الأنواع الأساسية التالية :

– مولدات بلف على التوالى : وفيها توصل ملفات المجال على التوالى بملفات عضو الإنتاج .
– مولدات بلف على التوازى : وفيها توصل ملفات المجال على التوازى بملفات عضو الإنتاج .

– مولدات بلف مركب : وفيها يوصل جزء من ملفات المجال على التوالى بملفات عضو الإنتاج، ويوصل الجزء الآخر على التوازى بملفات عضو الإنتاج .

الاستخدامات :

تستخدم المولدات بلف على التوالى فى الطلاء بالكهرباء والحام بالكهرباء وفى جميع الأغراض التى يمكن أن تضمن فيها تحميل المولد بصفة منتظمة ومستمرة .

وتستخدم المولدات بلف على التوازى فى محطات توليد القدرة الكهربائية .

كما تستخدم المولدات بلف مركب فى محطات توليد القدرة الكهربائية وفى المحطات الكبيرة بتشغيل متقطع . وتبين الأشكال (١٢) ، (١٣) ، (١٤) ، الرسوم التخطيطية لدوائر المولدات بلف على التوازى ، والمولدات بلف على التوالى ، والمولدات بلف مركب ، على الترتيب .

وقد توصل مولدات التيار المستمر مع بعضها البعض على التوالى للحصول على نظام تيار مستمر ثلاثى الأسلاك كما هو مبين بالشكل (١٥) . ويفيد مثل هذا النظام فى إمكان الحصول على جهدين مختلفين بين خطوطه مثل ١١٠/٢٢٠ فلط أو ٢٢٠/٤٤٠ فلط . ويكون الجهد بين أى موصل من الموصلين الخارجيين وبين موصل التعادل مساوياً لنصف الجهد بين الموصلين الخارجيين .

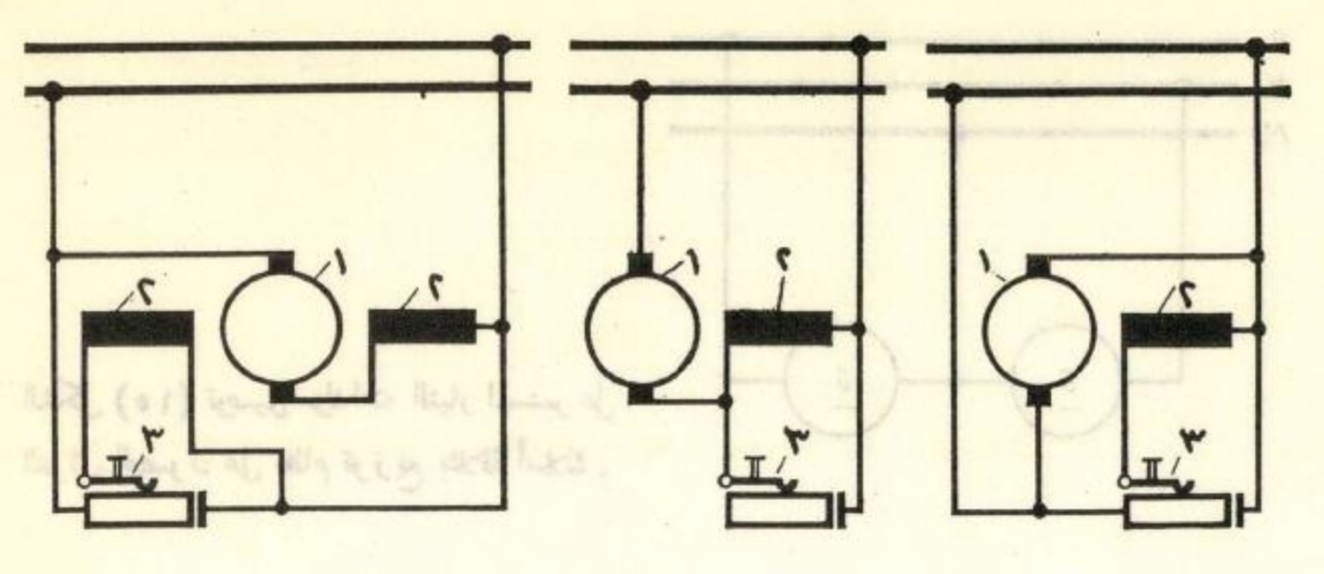
ثانيـاً : مولدات التيار المتردد

(٧) المولدات وحيدة الطور ، والمولدات ثلاثية الأطوار :

سبق أن شرحنا فى الجزء الأول كيفية الحصول على طاقة كهربائية بتيار متردد باستخدام مولد بسيط – وهو لا يختلف فى كيفية عمله عن مولد التيار المستمر ، استبدل فيه بعضو التوحيد (المبدل) حلقتان تنزلقان على فرشتين ثابتتين، ويمكن عن طريقهما الحصول على التيار المتردد . وتصنع مولدات التيار المتردد عادة بأقطاب داخلية . وتختلف المولدات الثلاثية الأطوار عن المولدات وحيدة الطور بوجود ثلاثة ملفات بين كل قطبين بدلا من ملف واحد . ويبين الشكل (١٦) رسماً تخطيطياً للمقارنة بين هذين النوعين من المولدات .

وتستخدم مولدات التيار المتردد فى الجر الكهربائى بتردد قدره ١٦ ٢/٣ ذبذبة/ثانية . كما تستخدم أيضاً فى توليد الطاقة الكهربائية بجهد يصل إلى ٦٠٠٠ فلط تقريباً . وقد تصنع مولدات لتوليد طاقة بجهد أكبر من ذلك على ألا يتعدى (١٥٠٠٠) فلط ، حيث أن ذلك يؤدى إلى الكثير من الصعوبات الخاصة بالعزل اللازم للملفات فى الجهود العالية .

ويمثل الشكل (١٧) رسماً تخطيطيا لوضع الملفات فى مجارى عضو الإنتاج . ومن الممكن ترتيب الملفات بعدة طرق أخرى من حيث خطوات اللف أو الشكل أو طرق التوصيل . .. إلخ .



الشكل (١٢) مولد بلف على التوازى :

١ – العضو الدوار (عضو الإنتاج)

٢ – العضو الساكن (ملفات المجال)

٣ – ريوستات المجال

طريقة ترتيب الدوائر :

توصل ملفات العضو الدوار على التوازى مع ملفات المجال

حالة الجهد المتولد تحت ظروف التشغيل المختلفة :

فى حالة التشغيل بدون حمل : يتولد الجهد بقيمته القصوى

فى حالة التشغيل بحمل : ينخفض الجهد انخفاضا طفيفا

الاستخدامات :

يستخدم فى محطات توليد القدرة الكهربائية

الشكل (١٣) مولد يلف على التوالى :

١ – العضو الدوار (عضو الإنتاج)

٢ – العضو الساكن (وفيه ملفات المجال) .

٣ – ريوستات المجال.

طريقة ترتيب الدوائر :

توصل ملفات عضو الإنتاج على التوالى بملفات المجال .

حالة الجهد المتولد تحت ظروف التشغيل المختلفة :

فى حالة التشغيل بدون حمل : لا يتولد أى جهد يذكر .

فى حالة التشغيل بالحمل : يزيد الجهد بسرعة كلما زاد الحمل .

الاستخدامات :

يستخدم كمولد مستقل يراعى تحميله بصفة مستمرة ومنتظمة .

يستخدم فى عمليات الطلاء بالكهرباء أو فى عمليات الإضاءة المنتظمة أو فى وحدات اللحام الكهربائى .

الشكل (١٤) مولد بملف مركب :

١ – العضو الدوار (عضو الإنتاج)

٢ – العضو الساكن (ملفات المجال)

٣ – ريوستات المجال .

طريقة ترتيب الدوائر :

يوصل جزء من ملفات المجال بملفات عضو الإنتاج – ويوصل الجزء الآخر على التوازى بها .

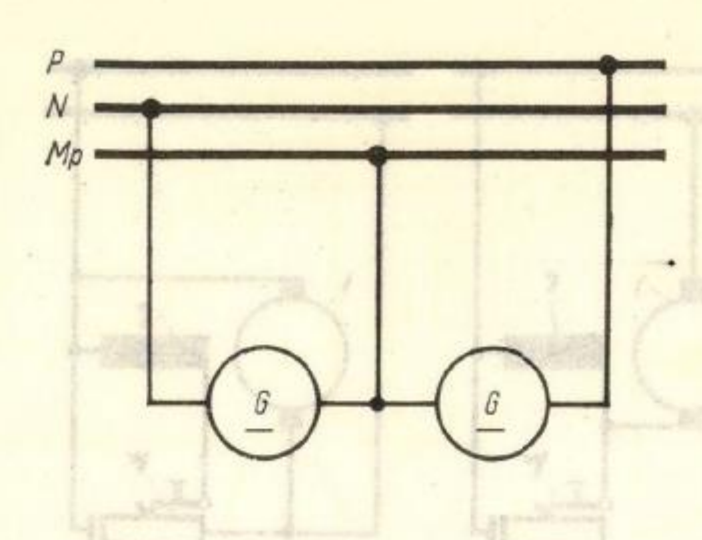
حالة الجهد المتولد تحت ظروف التشغيل المختلفة :

لا تعتمد قيمة الجهد المتولد عمليا على ظروف التشغيل المختلفة .

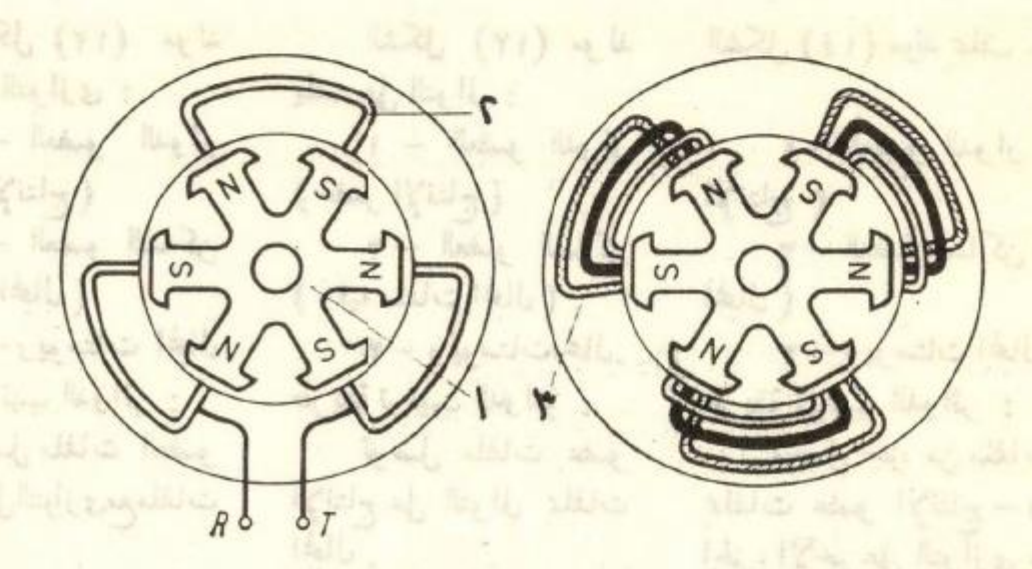
كما يمكن ضبط قيمة الجهد المتولد لتبقى ثابتة عمليا بواسطة ريوستات المجال .

الاستخدامات :

تستخدم فى محطات توليد القدرة – وفى المصانع التى يمكن التحميل بها متقطعا .

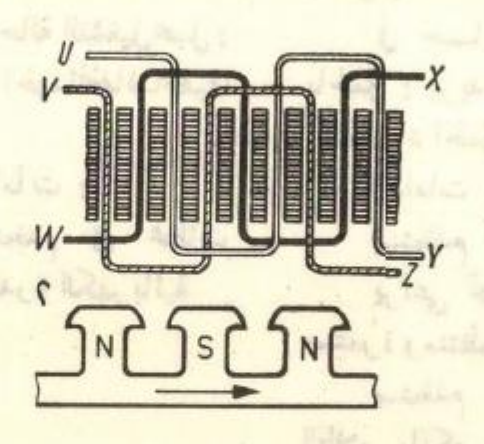


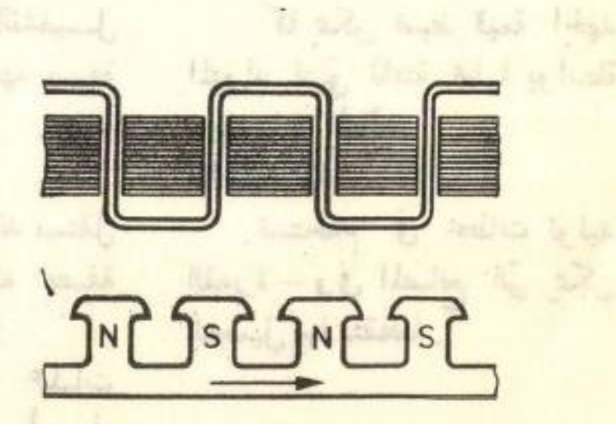
الشكل (١٥) توصيل مولدات التيار المستمر على التوالى للحصول على نظام توزيع بثلاثة أسلاك .



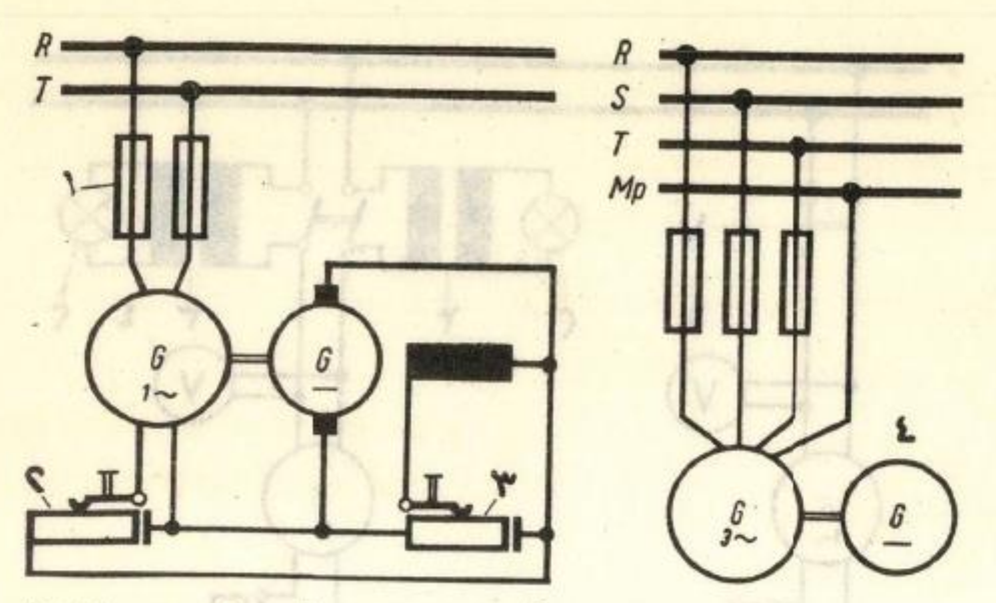
الشكل (١٦) ملفات المولد وحيد الطور والمولد الثلاثى الأطوار

١ – مغنطيسات المجال .
٢ – ملفات مولد وحيد الطور .
٣ – ملفات مولد ثلاثى الأطوار .





الشكل (١٧) ترتيب الملفات فى المولدات وحيدة الطور والمولدات ثلاثية الأطوار :
١ – ترتيب الملفات لمولدات وحيدة الطور ٢ – ترتيب الملفات لمولدات ثلاثية الأطوار



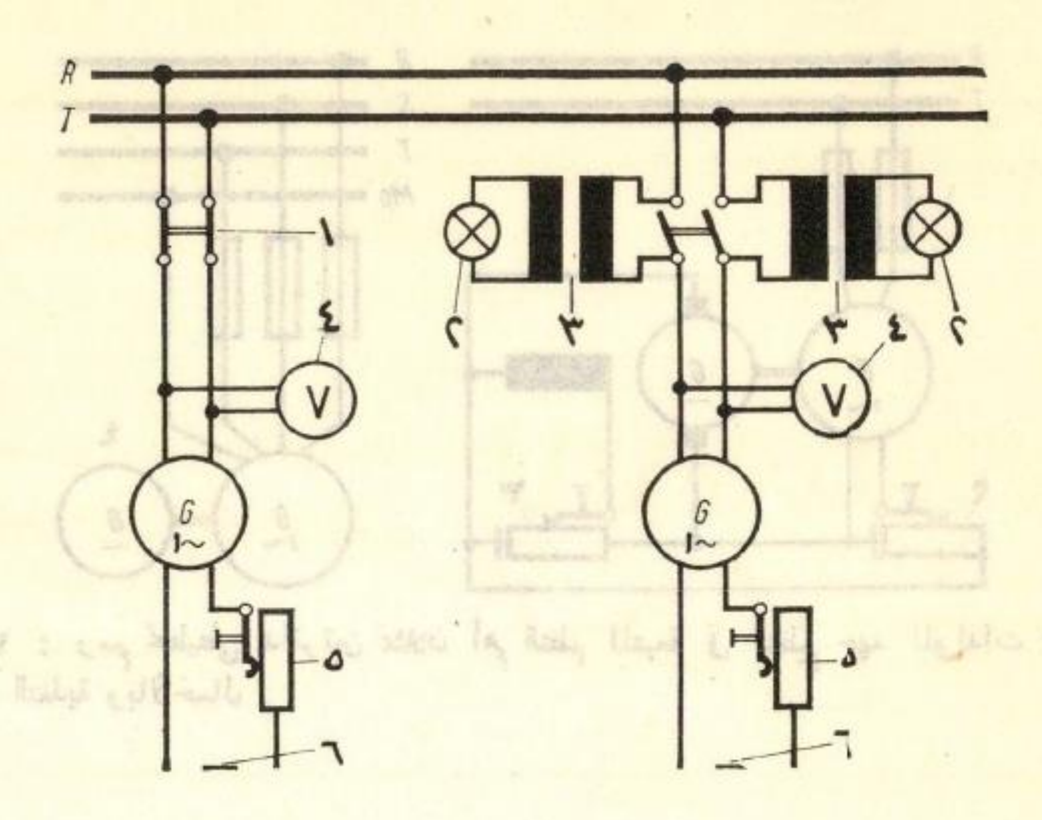
شكل ١٨ : رسم تخطيطى لدائرتين تمثلان أهم النظم المتبعة فى تنظيم جهد المولدات الموصلة بشبكات التغذية وبالأحمال .

ويمثل الشكل (١٨) رسماً تخطيطاً لدائرتين تمثلان أهم النظم الأساسية المتبعة فى تنظيم جهد المولدات الموصلة بشبكات التغذية وبالأحمال . ومنه يظهر كيفية تنظيم الجهد الناتج من المولد الرئيسى باستخدام المقاومتين (٢) ، (٣) . حيث توصل إحداهما (٣) بدائرة ملفات الإثارة المولد الرئيسى (مولد التيار المتردد)، بينما توصل المقاومة الأخرى (٣) بدائرة مولد التيار المستمر (المولد الصغير) ، الذى يغذى ملفات مغنطيسات المجال بتيار الإثارة اللازم . وبواسطة هاتين المقاومتين يمكن زيادة تيار شدة الإثارة للمولد الرئيسى إذا انخفض جهد المولد عن جهد المنبع ، أى يمكن بواسطتهما تنظيم جهد المولد ليبقى ثابتاً داخل حدود معينة .

(٨) توصيل مولدات التيار المتردد على التوازى :

تزود غالبية محطات توليد الكهرباء بعدد كبير من المولدات ، قد توصل جميعها بالشبكة أو يفصل جزء منها فى أوقات معينة ، بينما يوصل جزء آخر من هذه المولدات فى أوقات الذروة ، وذلك تبعاً للقدرة المطلوبة (الحمل المطلوب) . وتوصيل المولدات يعنى توصيل مولد أو أكثر على التوازى بمولد أو أكثر قائم بالعمل فعلا ، أى موصل بالشبكة ، ولا يتم ذلك إلا إذا توفرت الشروط الآتية للمولدين لحظة التوصيل :

١ — أن يكون لهما نفس الجهد المقنن .
٢ — أن يكون لهما نفس التردد المقنن .
٣ — أن يكون لهما نفس الطور لحظة توصيلهما معاً (يتحدان فى تتابع الأطوار) .



شكل ١٩ : رسم تخطيطى لدائرة يبين كيفية توصيل مولدين بطور وحيد على التوازى .

ويطلق المصطلح « التزامن » على عملية توصيل المولدات لتعمل على التوازى إذا استوفت الشروط السابقة .

(٩) كيفية القيام بعملية التزامن :

يبين الشكل (١٩) رسماً تخطيطياً لدائرة تبين كيفية القيام بعملية التوصيل على التوازى لمولدين بطور وحيد . وقد حذفت دوائر الإثارة من الشكل لتسهيل التمثيل التخطيطى للدائرة .

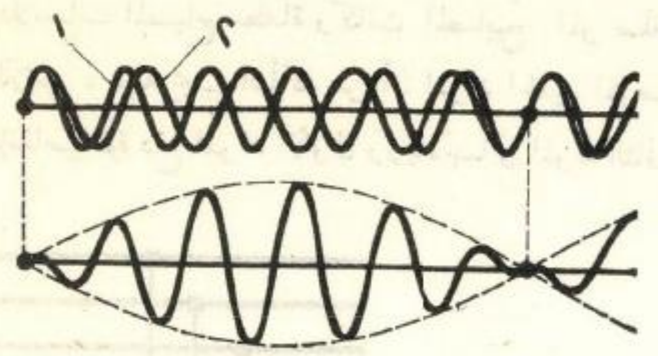
لنفرض أن المولد الموجود فى الجهة اليسرى قائم بالعمل فعلا وموصل بقضبان التوزيع ، وأن المولد بالجهة اليمنى هو المولد المطلوب توصيله على التوازى . تحدث عملية التزامن بإدارة المولد الموجود بالجهة اليمنى ، وضبط جهده بواسطة ريوستات المجال حتى يتساوى تماماً مع قيمة جهد المولد الموجود بالجهة اليسرى . ويتم التأكد من تطابق الأطوار وتساوى الجهد والتردد للمولدين بواسطة مصابيح يطلق عليها اسم مصابيح التزامن أو مصابيح الطور ، وهناك طريقتان لاختيار اللحظة المناسبة لتوصيل المولدين وإتمام عملية التزامن باستخدام :

(ا) مصابيح مطفأة .

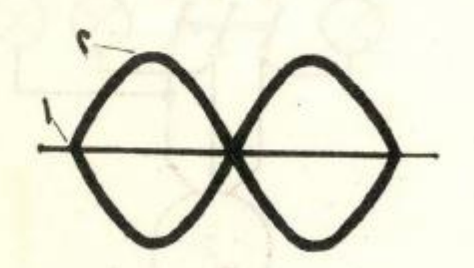
(ب) مصابيح مطفأة وأخرى مضاءة .

(أ) استخدام مصابيح مطفأة لعملية التزامن :

يوصل المصباحان على التوازى بملامسات مفتاح السكينة المزدوج الذى يقوم بتوصيل المولد الموجود بالجهة اليمنى مع المولد القائم بالعمل كما هو مبين بالشكل . وعندما يتساوى جهد وتردد كل من المولدين ويتحدان فى الطور فإن مصباحى التزامن يظلا مطفأين ، وفى هذه اللحظة يمكن توصيل المولدين معاً على التوازى .



شكل ٢٠ :
رسم تخطيطى لجهدين مختلفين لمولدين
١ – التردد $ف_1$
٢ – التردد $ف_2$



شكل ٢١ : جمع جهدين مختلفين لمولدين
١ – الجهد صفر ٢ – الجهد له قيمة قصوى

ولشرح أساس عملية التزامن بهذه الطريقة يمكن أن نرجع إلى الشكلين (٢٠) ، (٢١) ، حيث يبين الشكل (٢٠) رسماً تخطيطياً لجهدين مختلفين لمولدين تردد أحدهما $ف_1$ وتردد الآخر $ف_2$. وبجمع الجهدين فى أى لحظة من هذه الفترة الزمنية ، فإننا نحصل على جهد الرنين المبين فى شكل (٢١). ومن الشكل يتضح أن جهد الرنين الناتج من عدم تساوى الجهدين يؤدى إلى إضاءة مصابيح التزامن فى الوضع (٢) عندما يكون جهد الرنين أكبر ما يمكن ، وأنها تنطفىء عندما يكون صفراً ، أى عند الوضع (١) . وعلى ذلك فإن اختلاف التردد يؤدى إلى توهج المصباحين عند الوضع (١) وانطفائهما عند الوضع (٢) بصفة دورية . كما أن اختلاف قيمة الجهد فى كل من المولدين أو عدم اتحادهما فى الطور يؤدى أيضاً إلى توهج المصباحين .

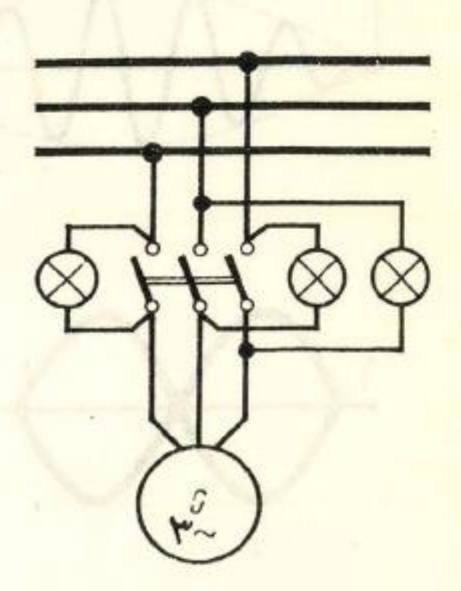
وللحصول على التزامن المطلوب بين المولدين يتم تغيير سرعة المولد الثانى حتى يتساوى جهد وتردد المولدين ويتحدا فى الطور ، وفى هذه اللحظة يستمر مصباحا التزامن مطفأين ، وعندئذ يمكن توصيل المولد الثانى على التوازى بالمولد الأول .

وبنفس الطريقة يمكن تشغيل مولد ثلاثى الأطوار على التوازى مع مولد ثلاثى الأطوار قائم بالعمل فعلا باستخدام ثلاثة مصابيح تزامن (مصباح لكل طور) .

(ب) باستخدام مصابيح مطفأة وأخرى مضاءة لعملية التزامن :

هناك طريقة أخرى للتأكد من تزامن المولدات ثلاثية الأطوار وتوصيلها على التوازى بالشبكة باستخدام مصابيح مضاءة وأخرى مطفأة كما هو مبين بالشكل (٢٢) .

وفى هذه الحالة يمكن التأكد من تزامن المولدين إذا كانت المصابيح الموصلة على التوازى بملامسات المصباح مطفأة وكانت المصابيح الموصلة على التقاطع مضاءة . وللاستفادة من عملية التزامن ، فإنه يجب التأكد من أن المولد الجديد الموصل على التوازى يتحمل جزءاً من الحمل ، وذلك بإنقاص قوة دفع المولد الأول وزيادتها فى المولد الثانى .



شكل (٢٢) كيفية توصيل المصابيح المضاءة والمصابيح المطفأة فى عملية التزامن

(١٠) محطات توليد القدرة الكهربائية :

تولد الطاقة الكهربائية فى محطات توليد القدرة الكهربائية بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية باستخدام المولدات السابق شرحها . وتصنف محطات توليد القدرة الكهربائية تبعاً لعدة أسس مختلفة .

وفيما يلى قائمة بأكثر التصنيفات شيوعاً :

١ – تصنيف المحطات تبعا لمصادر الطاقة الأولية التى تدفع المحركات الأولية :

من المعروف أن المولدات الموجودة بمحطات توليد القدرة الكهربائية تدار بواسطة محركات أولية تدفع بمصادر طاقة من أنواع مختلفة. وتقسم المحطات فى كثير من الأحيان تبعاً لنوع الطاقة التى تقوم بدفع المحرك الأولى إلى :

(أ) المحطات الحرارية :

وهى المحطات التى يدار فيها المحرك الأولى باستخدام الطاقة الناتجة من إحتراق الوقود (فحم ، غاز ، بنزين . . . إلخ) .

(ب) المحطات الهيدروليكية :

وهى المحطات التى يدار فيها المحرك الأولى بواسطة الطاقة الناتجة من اختلاف منسوبى المياه فى مكان ما من أى مجرى ، مائى من مجرى النهر مثلا .

(ج) المحطات الهوائية :

وهى المحطات التى يدار فيهـا المحرك الأولى باستخدام تيار الهواء المناسب (لدفع طواحين الهواء) .

٢ - تصنيف محطات توليد القدرة الكهربائية تبعا لنوع الخدمة :

سبق أن بينا أنه يوجد بمحطات توليد القدرة الكهربائية مولدات تعمل بصفة مستمرة ، وأخرى تعمل فى أوقات الذروة فقط ، أى تعمل على التوازى لتشارك فى القيام بجزء من الحمل الزائد فى أوقات الذروة ، ونضيف هنا أن هناك محطات بأكملها تعمل فقط فى أوقات الذروة ، أو عند زيادة الحمل ، أو فى أوقات معينة من السنة . ولذلك تصنف محطات توليد القدرة بالنسبة لنوع الخدمة إلى :

(أ) محطات خدمة مستمرة :

وهى التى تعمل على حمل أساسى ثابت بصفة مستمرة .

(ب) محطات خدمة مؤقتة :

وهى المحطات التى تعمل وتوصل بصفة إضافية بالشبكة العامة أثناء فترات الذروة ، أو زيادة الحمل ، أو فى أوقات معينة من السنة .

الباب الثانى

توليد الطاقة الكهربائية بالطرق الكيميائية (البطاريات)

(١١) الخلايا الجلفانية (الأعمدة البسيطة) :

بينا فيما سبق كيف تولد الطاقة الكهربائية بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية فى محطات الطاقة الكهربائية . وهناك طريقة أخرى لتوليد الطاقة الكهربائية بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية . وبالرغم من أن كمية الطاقة الكهربائية التى يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة الأخيرة أقل بكثير من كمية الطاقة الكهربائية التى يمكن الحصول عليها نتيجة لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية ، إلا أن طرق التوليد الكهركيميائى تعتبر ذات أهمية كبيرة جداً . ويطلق على وسائل تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية اسم « الخلايا الجلفانية » .

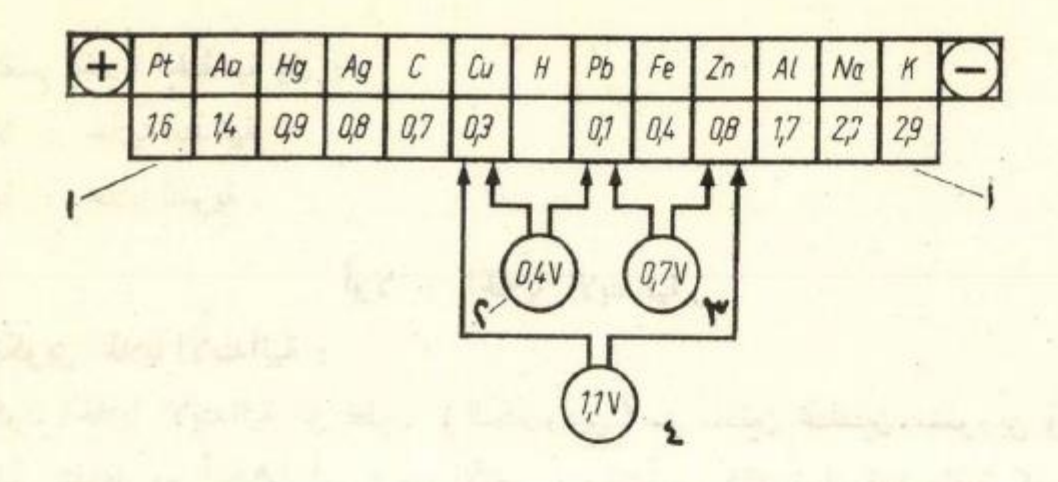
وتتكون الخلية الجلفانية من معدنين مختلفين (أحدهما من البلاتين والآخر من الألومنيوم مثلا) مغمورين فى سائل إلكتروليتى له موصلية كهربائية معينة . وعند توصيل فلطمتر بين نهايتى القضيبين الظاهرين فوق مستوى الالكتروليت فإنه يكشف عن وجود فرق فى الجهد بين القضيبين . أى أن هناك قوة دافعة كهربائية متولدة نتيجة للتفاعلات الكيميائية فى الخلية .

والسوائل الموصلة كهربائياً تسمى الالكتروليتات ، وأكثر هذه السوائل ذات طبيعة حمضية مثل حمض الكبريتيك المخفف بالماء . كما توجد أيضاً إلكتروليتات ذات طبيعة قلوية ، مثل هيدروكسيد البوتاسيوم وهيدروكسيد الصوديوم .

(١٢) المتواليات الكهركيميائية :

أجريت عدة اختبارات على الكثير من المعادن لمعرفة مقدار القوة الدافعة الكهربائية (واختصارها ق.د.ك) التى يمكن أن تتولد عند غمس معدنين أو أكثر من الالكتروليت . وقد رتبت المعادن فى جداول تبعاً لنتائج هذه الاختبارات ، أى طبقاً لكمية ق.د.ك بالفلط الناتجة بين كل عنصر أو معدن من هذه المعادن وبين الهيدروجين (العنصر غير الموصل الذى اتخذ كأساس مرجعى لعمليات المقارنة) .

وقد ميزت وحدات ق.د.ك بالفلط ، أى بنظام المتر – الكيلوجرام – الثانية ، لسهولة المقارنة . وهذا الترتيب الموضح بالجدول يعرف باسم « المتوالية الكهركيميائية » .



الشكل (٢٣) المتوالية الكهر كيميائية .

بلاتين (بلا)	رصاص (ر)
ذهب (ذ)	حديد (ح)
زئبق (ــــے)	زنك (خ)
فضة (ف)	ألومنيوم (لو)
كربون (ك)	صوديوم (ص)
هيدروجين (يد)	بوتاسيوم (بو)

١ – الجهد الأيونى للخلية
٢ – جهد الخلية نحاس – رصاص = ٤,٠ فلط
٣ – جهد الخلية رصاص – زنك = ٧,٠ فلط
٤ – جهد الخلية نحاس – زنك = ١,١ فلط

ويبين شكل (٢٣) المتوالية الكهركيميائية . وفى مركز الجدول نجد العنصر غير الموصل وهو الهيدروجين ، (ورمزه الكيميائى « يد ») وهو أساس المقارنة ، حيث أنه يقع بين العناصر الموجبة الشحنة والسالبة الشحنة .

ونجد على يسار الهيدروجين ، المعادن والكربون (ك) التى لهـا شحنة موجبة ، وعلى يمين الهيدروجين نجد المعادن ذات الشحنة السالبة . ولاستخدام الجدول لمعرفة جهد الخلايا الجلفانية إذا ما عرفت العناصر المستخدمة فيهـا ، يجب مراعاة الآتى :

الخلايا الجلفانية المصنوعة من عناصر لها نفس نوع الشحنة (مثال ++ أو – –) يمكن معرفة جهدها الكلى بطرح جهد أحد المعدنين من جهد المعدن الآخر . فالجهد الكلى للخلية التى استخدم فيها العنصران الرصاص والزنك يساوى (١,٠ – ٨,٠ = ٧,٠ فلط) . أما الخلايا الجلفانية التى تتكون من عناصر لكل عنصر منها شحنته التى تختلف عن شحنة العنصر الآخر ، فإنه يمكن معرفة جهدها الكلى بجمع جهدى المعدنين المستخدمين فى الخلية . وعلى ذلك فإن الجهد الكلى لخلية استعمل فيها عنصرا النحاس والزنك هو (٣,٠ فلط + ٨,٠ فلط = ١,١ فلط) . .

وتنقسم الخلايا الجلفانية إلى :

أولا : خلايا ابتدائية .

ثانيا : خلايا ثانوية .

أولا : الخلايا الابتدائية

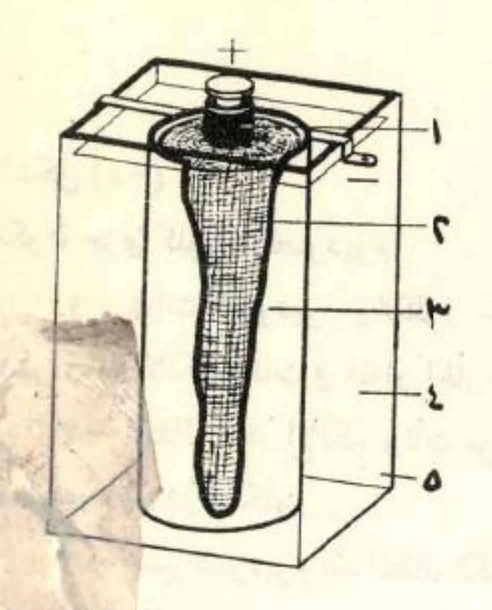
(١٣) تكوين الخلايا الابتدائية :

تتكون الخلايا الابتدائية من قطبين (الكترودين) من مادتين مختلفتين، مغمورين فى سائل الكتروليتى يتفاعل مع أحدهما أسرع من الآخر ، وينشأ عن ذلك تولد قوة دافعة كهربائية يمكن قياسها بواسطة فلطمتر يركب بين طرفى القطبين . وعند توصيل القطبين من الخارج ، يمر تيار كهربائى فى الدائرة فى اتجاه معين من أحد القطبين للآخر . وبمرور التيار تتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية . ولا يحدث فى الخلايا الابتدائية أى تفاعل كيميائى عكسى، أى أن هذه الخلايا لا تعود إلى حالتها التى كانت عليها قبل التفاعل إذا ما عكس اتجاه التيار فيها كما هى الحال فى البطاريات الثانوية .

(١٤) الاستقطاب :

عند غمر قضيبين من معدنين مختلفين فى الكتروليت بنفس الكيفية التى شرحناها فيما سبق ، فإنه يظهر عبر نهايتى القضيبين جهد يمكن قياسه ، وبعد زمن قصير نسبيا ، يبدأ هذا الجهد فى الانخفاض تدريجيا حتى يصل إلى الصفر تقريبا . وعند رفع القضيبين من الكتروليت بعد ذلك نجد أنهما مغطيان بطبقة رقيقة من مادة ما . وتنتج هذه المادة من التفاعلات الكيميائية التى تحدث بين القضيبين والإلكتروليت . وبعد تنظيف القضيبين تنظيفا تاما ووضعهما مرة ثانية فى الالكتروليت فإنهما يعطيان نفس الجهد السابق ، إلا أن هذا الجهد يبدأ فى الانخفاض مرة ثانية حتى يصل إلى الصفر تقريبا ، وهكذا . وهذه العملية التى تؤدى إلى تغطية القضيبين بهذه المادة والتى تؤدى إلى استمرار انخفاض الجهد، تسمى « عملية الإستقطاب » . أما عملية تنظيف القضيبين، سواء تمت بطريقة ميكانيكية أو كيميائية فتسمى عملية إزالة الاستقطاب . ويوضح شكل (٢٤) رسما تخطيطيا لخلية «لاكلانشيه» وهى خلية زنك – كربون قطبها الموجب عبارة عن قضيب من الكربون يحيط به مسحوق من ثانى أكسيد المنجنيز داخل غلاف به ثقوب ، وقطبها السالب عبارة عن وعاء من الزنك . وتتميز هذه الخلية بأن جهدها ثابت لا يتناقص إلى الصفر بسرعة حيث أن وجود ثانى أكسيد المنجنيز حول قضيب الزنك يؤدى إلى تنظيف قضيب الزنك بطريقة كيميائية ، وإلى منع الاستقطاب الذى ينتج عنه الانخفاض الذى يحدث فى جهد الخلية .

ولشرح عملية الاستقطاب وكيفية منعه أو إزالته بطريقة كيميائية فإننا نشرح أولا « ظاهرة التأين ، أى ظاهرة تكوين الأيونات » ، وكذلك ظاهرة « التحليل الكهربائى » ، وهى الظاهرة المتعلقة بالتوصيل الكهربائى للتيار فى المحاليل .



الشكل (٢٤) تصميم خلية زنك – كربون
١ – قضيب من الكربون
٢ – حقيبة بها ثانى أكسيد المنجنيز
٣ – وعاء أسطوانى من الزنك
٤ – محلول إلكتروليتى من كلورور الأمونيوم
٥ – وعاء من الزجاج

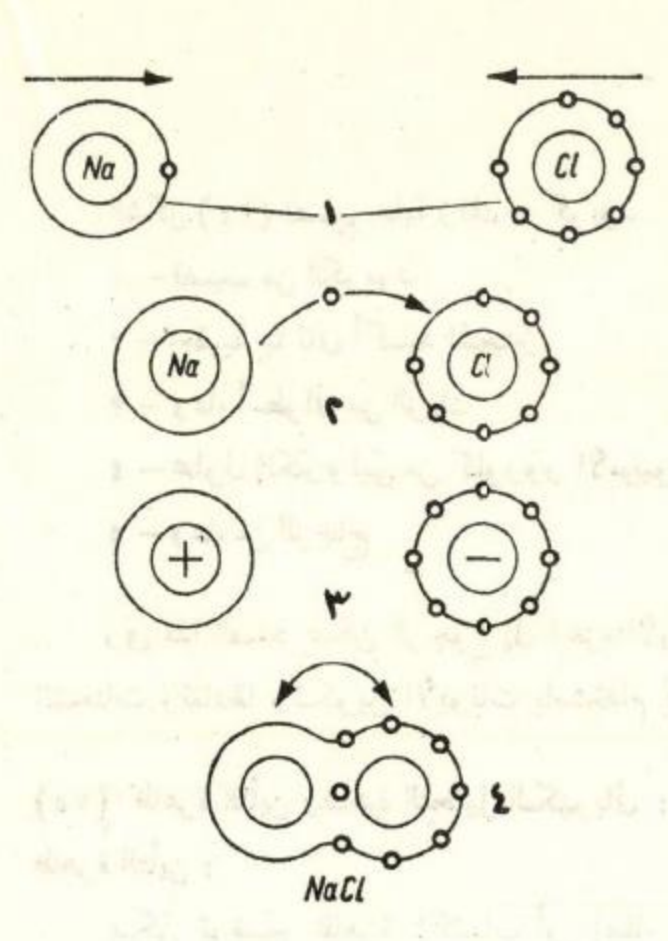
وفى هذا الصدد يمكن الرجوع إلى الجزء الأول لنعرف طبيعة الذرة المتعادلة وكيفية انفصال الشحنات وتعادلها وتكوين الأيونات باستخدام نموذج من ذرة الصوديوم .

(١٥) ظاهرة التأين وظاهرة التحليل الكهربائى :

ظاهرة التأين :

يمكن توضيح ظاهرة اكتساب أو إعطاء الكترونات ، والتى يطلق عليها ظاهرة التأين باستخدام محلول ملح الطعام . يتكون ملح طعام من الصوديوم (ص) والكلور (كل) ،وهذا المركب يسمى كلوريد الصوديوم . ويوضح شكل (٢٥ (١)) الإلكترونات الموجودة فى المدارات الخارجية لكل من ذرة الصوديوم وذرة الكلور . فى الحالة (١) تكون الذرتان متعادلتين كهربائيا ، فإذا كانت المسافة بين الذرتين صغيرة فإن الإلكترون الوحيد الموجود فى المدار الخارجى لذرة الصوديوم ينتقل إلى المدار الخارجى لذرة الكلور ، كما فى شكل (٢٥ (٢)) . وهذه العملية تؤدى إلى تغيير الحالة الكهربائية لكلتا الذرتين ويصبح جسيم الصوديوم موجب الشحنة ، بينما يصبح جسيم الكلور سالب الشحنة ،انظر شكل (٢٥ (٣)) . وتتعرض الذرتان السابقتان – نتيجة لوجود شحنة كهربائية فى إحداهما مضادة لشحنة الأخرى – لقوى تجاذب كهربائى متبادل يؤدى إلى تجميعهما فى جزئ محح الطعام (ص كل) . هذا الاتحاد الكيميائى مشابه لكثير من عمليات الاتحاد الكيميائى المماثلة ، وتسمى هذه الظاهرة « الرباط الكيميائى الكهربائى » ، فإذا أضيف ملح الطعام إلى المـاء فإن هذا الملح يذوب فيه مكونا محلولا موصلا للكهرباء .

وبالرغم من أن المـاء المقطر النقى له مقاومة نوعية عالية (بين ١٠^{٣} ، ١٠^{٥} أوم / م) وهذا يعنى أن المـاء النقى ليس موصلا للتيار الكهربائى – إلا أن التوصيل الكهربائى للمحلول يرجع إلى تحلل جزئيات الملح إلى جسيمات « موجبة » من الصوديوم وجسيمات سالبة من الكلور . وتسمى هذه الظاهرة باسم « التأين » . ويوضح الشكل (٢٥ (٣)) هذه الظاهرة .



الشكل (٢٥)
تكون جزئ كلوريد الصوديوم

١ – ذرات الصوديوم والكلور – وفيها يظهر وضع الالكترونات فى المدار الخارجى .

٢ – انتقال أحد الإلكترونات من ذرة الصوديوم إلى ذرة الكلور .

٣ – جسيم الصوديوم بعد انتقال الكترون منه وتحوله إلى شحنة موجبة ، وجسيم الكلور بعد انتقال إلكترون إليه وتحوله إلى شحنة سالبة .

٤ – جزئ كلوريد الصوديوم الناتج بفعل التجاذب الكهربى بين الشحنة السالبة والشحنة الموجبة .

وحيث أن الإلكترون الذى سبق أن انتقل من ذرة الصوديوم إلى ذرة الكلور ، لا يرجع إلى مكانه الأصلى ، فإن هذا يعنى أن جسيم الصوديوم يحمل شحنة كهربائية موجبة ، أى يصبح « أيون موجب » وأن جسيم الكلور يحمل شحنة كهربائية سالبة ويصبح « أيون سالب » وتحدث هذه الأيونات أو الشحنات الكهربائية بتأثير الذوبان ، ولا دخل للتيار الكهربائى فى حدوثها . ويمكن التعبير عن ظاهرة التأين بالمعادلة التالية :

ص كل ⟵ ص$^{+}$ + كل$^{-}$

– ظاهرة التحليل الكهربائى :

يمكن تلخيص ظاهرة التحليل الكهربائى بأن بعض جزيئات المادة تنقسم فى المحلول إلى شطرين يحمل أحدهما شحنة موجبة ويحمل الثانى شحنة سالبة كما سبق أن بينا فى ظاهرة التأين . إذا تعرض هذا المحلول لفرق جهد تندفع الشحنة الموجبة إلى الكاثود وتندفع الشحنة السالبة إلى الأنود ، حيث يفقد كل منهما شحنته ويتعادل آخذا الصفة المألوفة لمادته . وعندما يترسب على الإلكترود فإنه يتفاعل معه أحيانا أو يتفاعل مع ماء المحلول مكونا ذرات متعادلة ، وتسمى هذه الظاهرة الأخيرة باسم « التحليل الكهربائى » .

– منع الاستقطاب وإزالته :

بعد معرفة ظاهرة انفصال الشحنة الكهربائية وتكون الأيونات يمكن تقسيم كيفية حدوث الاستقطاب وطرق منعه وإزالته باستخدام خلية الزنك– كربون بالكتروليت من كلورور الأمونيوم كما يلى :

إذا غمس قضيبان أحدهما من الزنك والآخر من الكربون فى محلول من كلورور الأمونيوم، فإن تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية ، يبدأ بمجرد غلق الدائرة الخارجية (أى توصيل جزءى القضيبين الظاهرين) .

ويتحلل الالكتروليت فتتجه أيونات الهيدروجين السالبة إلى الأنود الكربونى ، بينما تتجه أيونات الأكسيجين الموجبة إلى الكاثود الزنك ، ويقوم الغازان بتغطية كل من الأنود والكاثود بطبقة رقيقة من الغاز . وكلما زادت تغطية الكاثود والأنود بالغاز ، يزداد عزلهما عن الالكتروليت المحيط بهما مما يؤدى إلى انخفاض جهد الخلية نتيجة لزيادة مقاومتها الداخلية . وهذه الظاهرة تسمى « الاستقطاب العادى » .

وبالإضافة إلى الاستقطاب العادى الذى يحدث فى خلية الكربون – الزنك توجد ظاهرة أخرى نتيجة لهذه العملية ، وهى تكون خلية ثانوية – هى خلية الهيدروجين – الأكسيجين وهذه الخلية لها أقطاب مضادة لخلية الكربون – زنك . وهذا يعنى أن التيار الأيونى لخلية الهيدروجين – الأكسيجين له اتجاه يعاكس اتجاه تيار خلية الكربون – زنك . وهذه العملية التى تحدث لأقطاب الخلية الجلفانية بعد توصيل قطبيهـا من الخارج ، تسمى عملية « الاستقطاب الالكتروليتى » . ولمنع الاستقطاب يجب التخلص من الهيدروجين المتكون .

وللتخلص من الاستقطاب الحادث فى خلية « لكلانشيه » ، يستخدم مسحوق من ثانى أكسيد المنجنيز (م أ ٢) وبعض المواد الأخرى، توضع فى الوعاء المحيط بقضيب الكربون . ويكون لثانى أكسيد المنجنيز قدرة على إخراج كمية كافية من الأكسيجين الذى يتحد كيميائيا مع الهيدروجين قبل وصوله إلى الأنود . ويقوم الأكسيجين الذى يصل إلى الكاثود تدريجيا بتحليل قضيب الزنك ليدخل ضمن الالكتروليت . وبذلك نمنع عملية الاستقطاب .

وفى بعض الأحيان يستخدم الأكسيجين الموجود فى الجو ، بدلا من مسحوق ثانى أكسيد المنجنيز ، لمنع عملية الاستقطاب . وفى هذه الحالة يحاط قضيب الكربون بمسحوق من الفحم النباتى النشط ، القادر على جلب الأكسيجين الجوى ليتحد كيميائيا بالهيدروجين الناتج ، مكونا ماء وذلك قبل أن يصل إلى الأنود .

(١٦) الخلايا الابتدائية الشائعة الاستعمال :

أدى التقدم التكنولوجى السريع فى السنوات الأخيرة إلى إدخال الكثير من التحسينات على الخلايا الابتدائية . ويوجد حاليا سلسلة من الخلايا الابتدائية المستخدمة فى الأغراض الخاصة والأغراض العامة ، مثل :

(أ) خلايا الزنك – أول أكسيد المنجنيز بالكتروليت كلورور الأمونيوم :

بطل استخدام الأعمدة السائلة التى يطابق تصميمها إلى حد كبير خلية « لكلانشيه » الموضحة بالشكل (٢٤) ، وحل محلها البطاريات الجافة من هذا النوع والتى زاد الإقبال عليها بدرجة كبيرة . وقد استعيض فيها عن محلول كلورور الأمونيوم السائل بعجينة مكونة من كلورور الأمونيوم مع نشارة الخشب والصمغ أو الهلام . وتتميز العجينة عن السائل بتماسك قوامها بحيث يمكن استخدام البطارية فى أى وضع ونقلها بسهولة إلى أى مكان .

ويعيب مثل هذه الخلايا الابتدائية قصر وقت تخزينها ، حيث أن قضيب الزنك يتآكل ويتحلل حتى بدون غلق الدائرة الخارجة ، أى حتى بدون استعمال الخلية .

وقد أدخلت بعض التحسينات على تصميم الخلايا باستخدام الأكسيجين الجوى ، وفى هذا النوع من الخلايا لا تفتح الممرات الهوائية التى تسمح بمرور الهواء إلى الكربون النشط ، إلا عند استخدام الخلية فقط ، وذلك لإطالة عمر تخزينها .

(ب) خلايا الزنك – أول أكسيد المنجنيز بالكتروليت قلوى :

يعتبر كلورور الأمنيوم المستخدم فى الخلايا الابتدائية أحد العوامل المدمرة للزنك . ويمكن تحسين خواص تخزين هذه الخلايا ومنع تآكل الزنك باستخدام محلول هيدروكسيد البوتاسيوم بدلا من كلورور الأمونيوم . وقد أدى هذا أيضا إلى زيادة قدرة خرج هذه الخلايا خاصة فى درجات الحرارة المنخفضة (حوالى – ٤٠°م) . لذلك يمكن استخدامها فى المناطق الباردة (القطب الشمالى أو الجنوبى) . ويفضل استخدام البطاريات ذات الإلكتروليت القلوى بدلا من الخلايا الابتدائية العادية فى الأحوال التى تتطلب فيها تشغيل البطاريات على الأحمال القصوى ولفترات طويلة .

(ﺟ) خلايا الزنك – أكسيد الزئبقوز :

يحد من استخدام خلايا الزنك – أول أكسيد المنجنيز ، انخفاض كفاءتها عند تشغيلها فى درجات الحرارة المرتفعة . وذلك نظرا لزيادة التفريغ الذاتى عند درجة الحرارة ٤٥°م ، مما يجعل استخدامها فى المناطق الحارة غير اقتصادى . ويفضل فى هذه الأحوال استخدام خلايا الزنك – أكسيد الزئبقوز ، وذلك نظرا لكفاءتها العالية وصغر حجمها وخفة وزنها وقدرتها على العمل فى درجات الحرارة العالية .

وتتميز هذه الخلايا بكفاءة تشغيل عالية عند درجات حرارة حتى ٥٥°م ، مع إمكان استخدامها لفترات صغيرة عند درجة حرارة ١٠° م . ويعيب هذه الخلايا :

ارتفاع ثمنها نتيجة لارتفاع أثمان الخامات المستخدمة فيها ولتصميمها المعقد . هذا بالإضافة إلى الصعوبات المتعلقة بإحكام تغليفها وإغلاقها ، حيث أن تسرب الغاز يؤدى غالبا إلى تفاعلات كيميائية تؤدى إلى تدمير الخلية .

(د) خلايا الوقود :

سبق أن بينا عند التحدث عن الاستقطاب ، أن هناك خلايا ثانوية تتكون من الهيدروجين – الأكسيجين داخل خلايا الزنك – كربون ، ويكون لخلية الهيدروجين – أكسيجين نفس مميزات وخواص أية خلية جلفانية . كما بينا أن هناك ظاهرة أخرى تلعب فيها الغازات دورا هاما فى الخلية الجلفانية ، وهو تأكسد الهيدروجين فى الخلية نتيجة لاستخدام الأكسيجين الجوى . وفى أواخر القرن الماضى فكر « أوزوالد » فى استخدام الغازات أو السوائل القابلة للاشتعال فى صناعة خلايا الوقود ، بدلا من استخدام الكربون أو المعادن التقليدية أو أكاسيدها فى صنع الخلايا العادية . وبعد حوالى ٧٠ سنة تقريبا من فكرة « أوزوالد » هذه ، اتخذت الإجراءات الأولية لإنتاج أول خلية وقود ، وقد أطلق عليها اسم « بطاريات الوقود شبه الصناعية » لتدل على مصدر الخامات التى تصنع منها هذه البطاريات .

ومن الناحية الاقتصادية لم تصل بطاريات الوقود المنتجة حاليا إلى المستوى الذى يمكن مقارنته مع البطاريات العادية ، حيث أن تكاليف توليد طاقة كهربائية معينة بواسطة البطاريات التقليدية أقل من تكاليف توليد نفس الطاقة بواسطة بطاريات الوقود ، وذلك لارتفاع أثمانها للأسباب التالية :

١ – إن خواص الخامات المستخدمة فى صنع الأنود والكاثود لبطاريات الوقود تختلف تماما عن خواص خامات الأنود والكاثود فى البطاريات التقليدية .

٢ – إن خلايا الوقود تحتاج إلى أغلفة صامدة لارتفاع درجات الحرارة وللانفجار .

٣ – إنه يلزم لبعض بطاريات الوقود التى تعمل تحت ضغوط جوية عالية ، مضخات ووسائل لقياس الضغط والتحكم فيه .

وفيما يلى وصف موجز لبطارية أكسجين – هيدروجين صنعها « باكون » ، وهى نوع من البطاريات التى تعمل فى درجات الحرارة المتوسطة .

تصنع أقطاب هذه البطارية من مسحوق النيكل على هيئة قشور ، والإلكتروليت المستخدم فيها محلول من هيدروكسيد البوتاسيوم (٣٨٪ بوتاسيوم) . ويستخدم فيها الهيدروجين كوقود

والأكسيجين كمؤكسد ، ويبدأ فيها الاحتراق عند ضغط يساوى ۲۷ ضغطا جويا، وعند درجة حرارة ۲۰۰°م .

وتعطى هذه البطارية جهدا قدره ٣٢ فلط، وقدرة خرج فى حدود ٥ كيلووات . وقد اجتازت هذه البطاريات إختبارات الأداء بكفاءة عالية حيث استخدمت لمدة تزيد على عام . ويمكن اعتبارها بطارية مثالية للخدمة الطويلة ، بصرف النظر عن المشكلات الجانبية الأخرى، مثل ارتفاع تكاليف المعدات والمواد المستخدمة فى إنتاجها .

وخلاصة القول أن بطاريات الوقود مازالت فى بداية عهدها . وأن إنتاجها الذى يتم حاليا على مستوى محدود ، يبشر بأنها ستكون فى المستقبل مصدرا مهما من مصادر الطاقة ، وخاصة إذا أمكن إنتاجها بطريقة اقتصادية .

(۱۷) تصنيف البطاريات الابتدائية التجارية :

فيما يلى مسح للبطاريات التجارية المستخدمة فى الأغراض العامة :

نوع الخلية	الجهد المقنن	استعمالها
الخلية القضيبية (الخلية ذات القضيب الواحد) الشكل ٢٦	١,٥ فلط	تستخدم فى عمليات الإنارة، وفى مصابيح الإنارة التى توضع فى الجيب، وفى أجهزة الراديو الترانزستور وبطاريات الشحن ومصابيح الوميض المستخدمة فى التصوير ومصدرا لتغذية لعب الأطفال بالكهرباء .
بطارية مصباح الإنارة الشكل ٢٧	٣,٠٠ فلط	تستخدم فى مصابيح الإنارة التى توضع فى الجيب .
البطارية المسطحة (المبططة) الشكل ٢٨	٤,٥ فلط	تستخدم فى مصابيح الإنارة التى توضع فى الجيب ، ومصدرا للتغذية فى لعب الأطفال .
البطارية الأنودية الشكل ٢٩	٢٢,٥ فلط	تستخدم كمصدر لتغذية أجهزة السمع .
البطارية الأنودية الشكل ٣٠	٨٥ فلط	تستخدم مصدرا لتغذية أجهزة الراديو (ويمكن الحصول عليها أيضا بجهد ٧٥ فلط ، ٦٧,٥ فلط)
البطاريات المستخدمة فى الصناعة . الشكل ٣١	١,٥ فلط	تستخدم فى مجالات مختلفة كمصدر لتغذية أجهزة الأمان .

وبجانب ذلك توجد بطاريات قضيبية لأجهزة الراديو الترانزستور الصغيرة ، وبطاريات على شكل صندوق لعمليات الفلاحة بالكهرباء ، وبطاريات على هيئة أزرار تستخدم فى الساعات اليدوية التى تعمل بالكهرباء .

وتبين الأشكال (من ٢٦ إلى ٣١) أنواعا مختلفة من البطاريات التجارية .

ملحوظة : يراعى ما يلى فى البطاريات الابتدائية التجارية المستخدمة فى الأغراض العامة :

١ – أن ترقم البطاريات الأولية المستخدمة فى الأغراض الصناعية والتجارية بالجهد المقنن .

٢ – الإقلال من استخدام البطاريات التى يزيد جهدها على ١,٥ فلط فى الأغراض العامة بسبب ارتفاع أثمان الخامات المستخدمة فيها .

٣ – التأكد من جهد وحجم وسعة البطارية عند استخدامها أو عند توصيلها ببطارية أخرى .



الشكل (٢٦) خلية وحيدة



الشكل (٢٧)
بطارية مصباح الجيب .



الشكل (٢٨) بطارية مبططة .



الشكل (٢٩) بطارية أنودية
٢٢,٥ فلط



الشكل (٣٠) بطارية أنودية
٨٥ فلط



الشكل (٣١) بطارية صناعية

(١٨) طرق توصيل البطاريات :

توصل البطاريات الأولية عادة للحصول على جهد أكبر من جهد خلية واحدة أو تيار أكبر من تيار خلية واحدة .

وفيما يلي وصف مبسط لطرق توصيل الخلايا الابتدائية أو الثانوية مع بعضها البعض :

(أ) توصيل البطاريات على التوالى :

قد يحتاج تشغيل جهاز كهربائى إلى جهد أكبر من جهد خلية واحدة من الخلايا المتوفرة فى السوق ، لذلك يلزم توصيل عدة خلايا من هذا النوع على التوالى كما هو موضح فى الشكل (٣٢).

الشكل (٣٢) كيفية توصيل الخلايا على التوالى

$$ج_{كل} = ن\ ج_{خ}$$

حيث $ج_{كل}$ = الجهد الكلى للبطارية (الجهد الكلى لجميع البطاريات الموصلة على التوالى)

$ج_{خ}$ هو الجهد الخارج من كل خلية

، ن عدد الخلايا الموصلة على التوالى

مثـال :

جهاز ترانزستور يعمل على جهد ١٠ فلط ، ومجهز ليعمل ببطاريات على هيئة أزرار جهد كل منها ١,٢ فلط ، ويقدر الفقد فى الجهد فى هذا الجهاز بحوالى ٥٪ فما عدد الخلايا المطلوبة من هذا النوع .

المعطيـات :

جهد الجهـــاز ج = ١٠ فلط .

جهد البطـــارية $ج_{ب}$ = ١,٢ فلط

فقـــد = ٥٪

الحـــل :

الفقد فى الجهد الكلى $= \frac{١٠ \text{ فلط} \times ٥}{١٠٠}$ = ٠,٥ فلط

الجهد الكلى $ج_{كل}$ = ١٠ فلط + ٠,٥ فلط = ١٠,٥ فلط

الجهد الكلى = جهد خلية واحدة × عدد الخلايا

الجهد الكلى = $ج_{ب} \times ن$ ∴ $ن = \frac{ج_{كل}}{ج_{ب}} = \frac{١٠,٥}{١,٢} = ٩$

المطلوب ٩ خلايا .

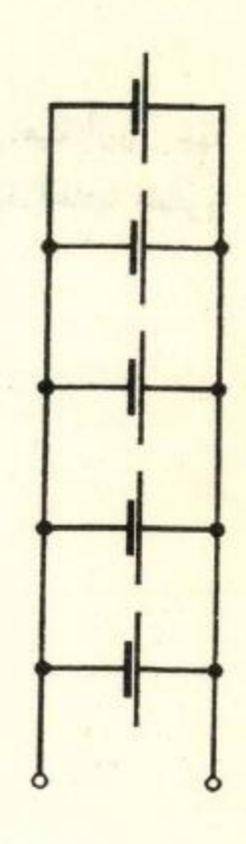
(ب) توصيل البطاريات على التوازى :

إذا احتاج تشغيل جهاز كهربائى إلى تيار أكبر من التيار المقنن لخلية واحدة من الخلايا المتاحة فى السوق ، فيمكن الحصول على التيار المطلوب بتوصيل عدة خلايا من هذا النوع على التوازى .

ويبين شكل (٣٣) خمس خلايا موصلة على التوازى . ويمكن اعتبارها خمس مقاومات متصلة على التوازى لتمثيل حساب علاقات التيـار فى دائرة البطاريات الموصلة على التوازى وتبسيطها . وقد بنيت جميع الحسابات على أساس تيار قصر الدائرة للخلية حتى يمكن تطبيق قانون « كرشوف » عليها فى هذه الحالة .

مثـال :

خلية جهدها ١,٥ فلط ومقاومتها الداخلية م = ٠,٥



الشكل (٣٣) كيفية توصيل الخلايا على التوازى

$$\therefore \text{ت} = \frac{\text{ج}}{\text{م}} \qquad \text{أى ت} = \frac{١,٥}{٠,٥} = ٣ \text{ أمبير}$$

فإذا كانت الخلية مقصرة الدائرة فسيمر بها تيار شدته ٣ أمبير .

ولنفرض أن جميع الخلايا موصلة على التوازى، كما هو مبين بالشكل (٣٣) وأن المقاومة الداخلية مقدارها ٠,٥ Ω ، فن الممكن تمثيل الدائرة بخمس مقاومات متساوية متصلة على التوازى .

$$\therefore \text{المقاومة الكلية للدائرة} = \frac{\text{قيمة إحدى المقاومات بالأوم}}{\text{عدد المقاومات}} = \frac{٠,٥}{٥} = ٠,١ \ \Omega$$

أى أن المقاومة الكلية للدائرة المكونة من خمس خلايا موصلة على التوازى تساوى ٠,١ Ω . وحيث أن الجهد الكلى $\text{ج}_{\text{كل}}$ فى حالة توصيل الخلايا على التوازى يكون مساويا لجهد خلية واحدة :

$$\therefore \text{ت} = \frac{\text{ج}}{\text{م}_{\text{كل}}} \qquad \text{ت} = \frac{١,٥ \text{ فلط}}{٠,١}$$

ت = ١٥ أمبير

أى أنه فى حالة توصيل الخلايا الأولية على التوازى تكون شدة التيار الكلى المار فى أطراف الدائرة مساوية لمجموع شدة التيارات المارة فى البطاريات الموصلة على التوازى .

ثانيا : الخلايا الثانوية (المراكم أو خلايا التخزين) :

يطلق هذا الاسم على الخلايا التى تحول فيها الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية ، وتبقى فيها الطاقة الكهربائية مختزنة على هيئة طاقة كيميائية إلى أن يسحب منها التيار عند الحاجة . وتتميز هذه الخلايا بإمكان حدوث تفاعلات عكسية فيها لتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية مرة أخرى . أى أن مرور التيار فى الاتجاه العكسى يؤدى إلى إعادة الخلية إلى حالتها الأصلية ، ويتم خزن الكهرباء فيها مرة ثانية . والخلايا الثانوية يطلق عليها أيضاً اسم «خلايا التخزين» أو «المراكم»، لما تتميز به من خاصية تخزين الطاقة الكهربائية .

ويوجد مجموعتان من بطاريات التخزين :

(ا) بطاريات الرصاص الحمضية .

(ب) بطاريات النيكل القلوية .

وهذا التصنيف ينبنى على أساس الخامة التى يصنع منها الأنود فى هذه البطاريات ، أو على أساس الإلكتروليت المستخدم فى كل منهما .

(١٩) بطاريات الرصاص الحمضية :

يطلق على بطاريات الرصاص الحمضية اسم « مراكم الرصاص » أو « المراكم الحمضية » ، وتتكون من وعاء به فتحات لخروج النهايات ، وفتحات أخرى لتوصيل الخلايا ، التى تحتوى عليها البطارية ، بعضها ببعض على التوالى .

كما يوجد بالوعاء فتحات أخرى لملء خلايا البطارية . وتغلق هذه الفتحات الأخيرة بإحكام بواسطة سدادات لولبية . ويوجد بداخل الوعاء ، الأقطاب ، والإلكتروليت . ويصنع الوعاء عادة من مادة مقاومة للأحماض (مثل الزجاج أو المطاط الناشف أو السيراميك) ، أما الأقطاب فتصنع من ألواح من الرصاص الناشف . وهذه الألواح تكون على هيئة شبكة مثقبة تسمح بمرور الإلكتروليت خلالها ، ويغطى سطحها بعجينة من كبريتات الرصاص (ركب أ$_{٤}$) . وهذه العجينة هى المادة الفعالة التى تطلى بها الألواح ، بحيث تزيد من مساحة السطح الفعال للوح بدرجة كبيرة . ويبين الشكل (٣٤) تمثيلا تخطيطيا لأحد هذه الألواح . وأما الإلكتروليت فهو عبارة عن حمض الكبريتيك المخفف .

وتتكون كل خلية من خلايا الرصاص النقالى المستخدمة فى العربات وفى إضاءة المصابيح من عدة ألواح من الرصاص لها نفس الخواص التى سبق شرحها ، وتوصل فيها الألواح معا على التوازى ، ويفصلها عن بعضها البعض ألواح عازلة من البلاستيك ، لتمنع التلامس بين الألواح الرصاص عند انبعاجها نتيجة لارتفاع درجة حرارة البطارية أثناء التشغيل . ويراعى عند وضع

ألواح الرصاص فى البطارية . ترك فراغ بسيط بين نهايتها السفلى وبين قاع الوعاء وذلك لضمان عدم حدوث تلامس بين نهايات الألواح مع بعضها البعض، أو بينها وبين قاع الوعاء عن طريق نفاتات المواد الموصلة التى قد تتناثر وتتراكم فى قاع الوعاء أثناء عملية تشغيل البطارية . وتصمم بطاريات الرصاص حاليا بحيث تحتوى كل بطارية على حجرات منفصلة يكون عددها عادة ثلاثة أو مضاعفات لهذا العدد . وتحتوى كل حجرة منها على خلية واحدة جهدها ٢ فلط . وتوصل هذه الخلايا عادة على التوالى . ومن الممكن حساب عدد الخلايا الموجودة فى البطارية عن طريق عدد الفتحات الخاصة بملء الخلايا .

(٢٠) حالة الشحن وحالة التفريغ لبطاريات الرصاص :

١ – حالة التفريغ :

إذا غمر لوحان مطليان بكبريتات الرصاص ، من نفس النوع الذى سبق وصفه ، فى سائل إلكتروليتى يتكون من الماء المقطر وحمض الكبريتيك ، ووصل الطرفان الظاهران لهذين اللوحين بدائرة خارجية ، فلن يمر بالدائرة أى تيار كهربائى ، لأن المواد التى تتركب منها أقطاب الخلية متشابهة . لذلك لا يحدث بين القطبين أي فرق فى الجهد . وتوصف البطارية فى هذا الوضع « بأنها فى حالة تفريغ » . وتورد البطاريات عادة وهى على هذه الحالة قبل شحنها . ويوضح شكل (٣٥) حالة التفريغ هذه .

حالة الشحن :

عند تسليط تيار مستمر على الخلية السابقة ، فإن اللوح أو القطب المتصل بالنهاية السالبة للتيار المستمر يتحول من كبريتات الرصاص (ركب أ٤) إلى رصاص أسفنجى (ر) ، بينما يتحول اللوح أو القطب المتصل بالنهاية الموجبة التيار المستمر إلى فوق أكسيد الرصاص (ر أ٢)

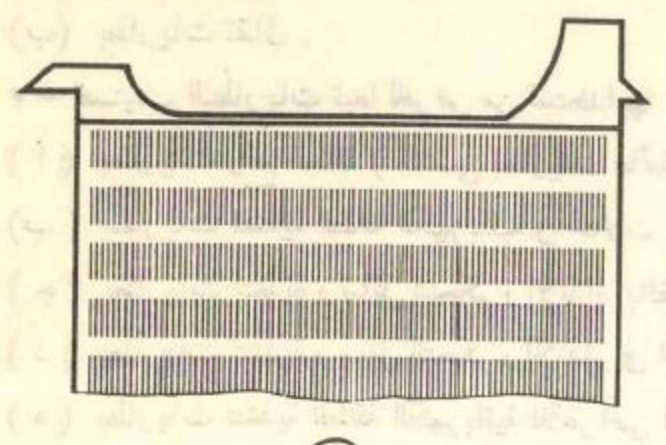
تفريغ

ر أ٢ + ٢ يد٢ كب أ٤ + ر ⇄ ٢ ر كب أ٤ + ٢ يد٢ أ

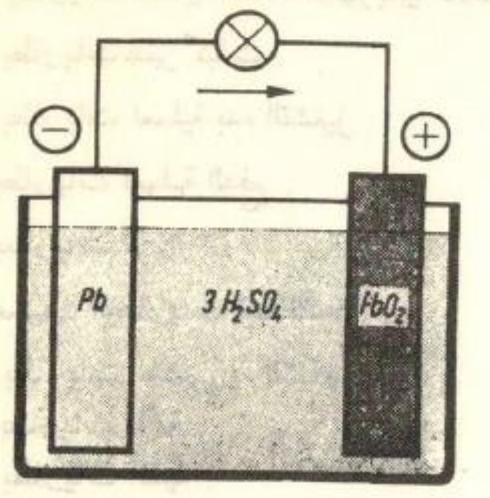
شحن

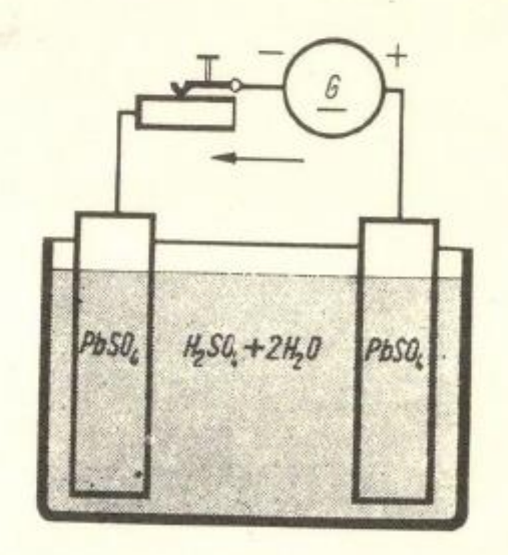
ويلاحظ أن عملية الشحن تؤدى إلى زيادة تركيز حمض الكبريتيك فى السائل الإلكتروليتى ، لأن الحمض المتبقى من كبريتات الرصاص يتحد مع الهيدروجين الموجود فى الماء ، مكونا حمض كبريتيك فيؤدى ذلك إلى زيادة كثافة السائل (انظر شكل ٣٦) .

وبعد إتمام الشحن تصبح للبطارية مواصفات الخلية الجلفانية التى سبق شرحها ، أى يصبح لكل لوح من لوحى البطارية المغمورين فى السائل الإلكتروليتى تكوين ومواصفات تختلف من حيث التوصيل الكهربائى عن اللوح الآخر ، أى يصبح بينهما فرق فى الجهد الكهربائى .



الشكل (٣٤) لوح ذو سطح عريض مستخدم فى صنع البطاريات الحمضية .





الشكل (٣٥) بطارية تخزين فى حالة تفريغ

الشكل (٣٦) بطارية تخزين فى حالة شحن

وعند غلق الدائرة الخارجية ومرور التيار فيها تبدأ عملية أخرى عكس العملية السابقة . حيث يتفاعل لوح الرصاص الإسفنجى المتصل بالقطب الموجب مع الحمض ، بحيث يصبح هذا اللوح كبريتات رصاص ، كما يتفاعل لوح فوق أكسيد الرصاص المتصل بالقطب السالب مع الحمض بحيث يصبح هذا اللوح أيضا كبريتات رصاص ، وعند ذلك تتشابه طبيعة اللوحين وتصبح البطارية فارغة ،أى« فى حالة تفريغ » . وتقل كثافة السائل الإلكتروليتى . وعندئذ يجب شحن البطارية .

(٢١) تصنيف بطاريات الرصاص التجارية :

قبل شرح بطاريات الرصاص المستخدمة فى الأغراض العامة والمتاحة فى الأسواق، يفضل تصنيفها لمعرفة أنواعها وطرق استخدامها . وتصنف بطاريات التخزين عادة إما تبعا لطرق تركيبها ووضعها فى المعدات ، أو تبعا للغرض من استخدامها ، أو تبعا لشكلها .

١ – تصنيف بطاريات التخزين تبعا لطرق تركيبها ووضعها فى المعدات :

(ا) بطاريات ثابتة .

(ب) بطاريات نقالى .

٢ – تصنيف البطاريات تبعا للغرض من استخدامها :

(ا) بطاريات رفع الطاقة (وتسمى بطاريات عائمة) .

(ب) بطاريات لتغذية الطاقة الكهربائية فى حالات الطوارئ .

(ج) بطاريات لتغذية وسائل التحكم والإنذار بالقدرة اللازمة .

(د) بطاريات لتغذية وسائل التحكم والإنذار فى الترددات العالية بالقدرة اللازمة

(ه) بطاريات لتغذية الطاقة الكهربائية للأغراض الطبية .

(و) بطاريات للمركبات .

(ز) بطاريات لعملية بدء التشغيل .

(ح) بطاريات لعملية الدفع .

(ط) بطاريات للإنارة .

٣ – تصنيف البطاريات تبعا للشكل :

(ا) بطاريات منشورية الشكل .

(ب) بطاريات قائمة .

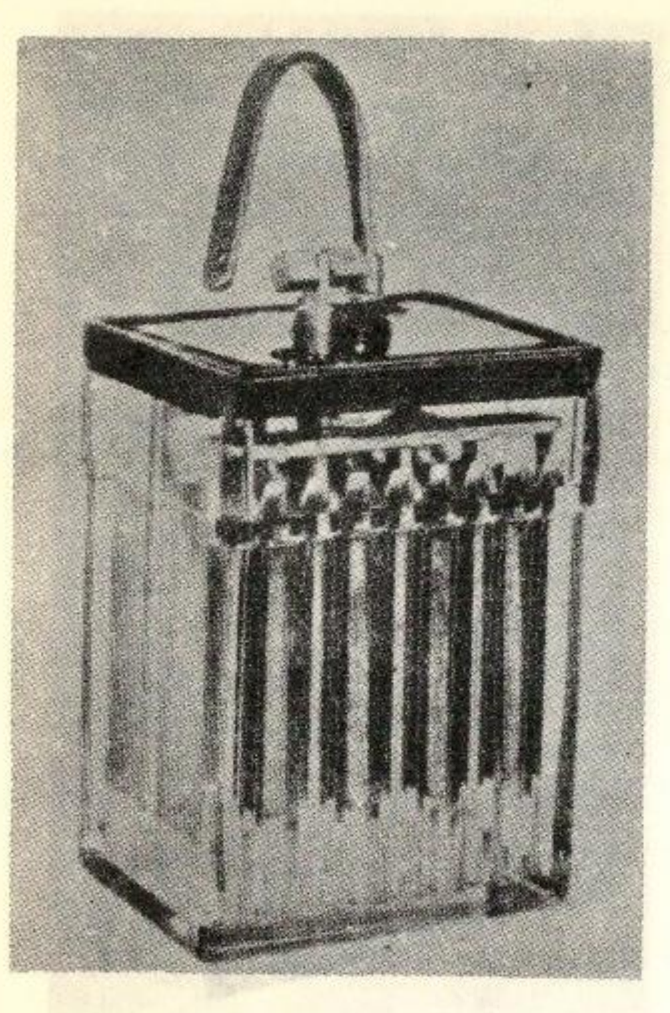
(ج) بطاريات أفقية .

(د) بطاريات على شكل زرار } توجد مثل هذا الخلايا فى المراكم

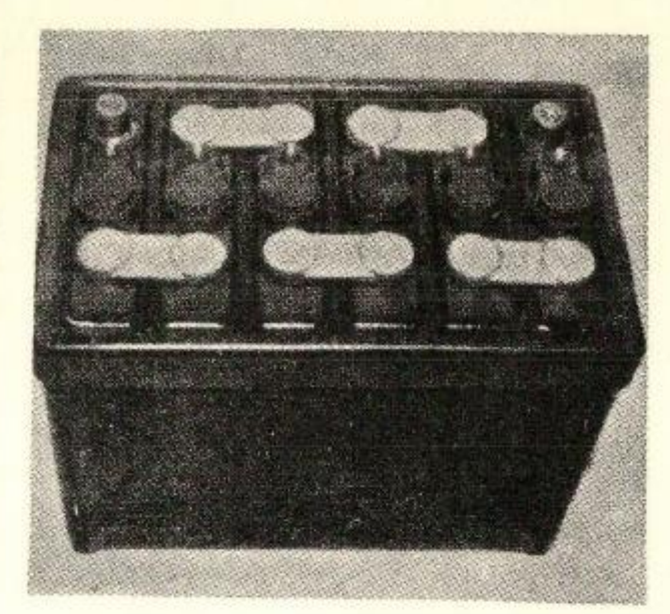
(ه) بطاريات دائرية الشكل } النيكل – كادميوم .

وهناك بعض بطاريات التخزين التجارية الخاصة ولكنها قليلة ، ومنها :

نوع الخلية التى تتكون منها البطارية	السعة
خلية وحيدة فى وعاء زجاجى (شكل ٣٧)	من ٣٦ إلى ٧٢٠ أمبير ساعة
خليتان فى وعاء زجاجى	من ٥٧٦ إلى ١٤٤٠ أمبير ساعة
خلية وحيدة فى وعاء لا يتأثر بالحمض	من ٧٢٠ إلى ٤٤٦٤ أمبير ساعة
بطاريات بدء الحركة (شكل ٣٨)	٨ أمبير ساعة بجهد ٦ فولت أو ٥٦ أمبير – ساعة إلى ١٨٠ أمبير – ساعة بجهد ٦ فلط أو ١٢ فلط .
بطاريات موضوعة فى صناديق حديدية تستخدم لدفع العربات الكهربائية	٨٠ أمبير – ساعة بجهد ٤٠ فلط إلى ٣٠٠ أمبير / ساعة بجهد ٢٠ فلط
بطاريات موضوعة فى صناديق خشبية تستخدم لدفع العربات الكهربائية	١٣٢ أمبير – ساعة بجهد ٨٠ فلط إلى ٣٥٠ أمبير – ساعة بجهد ٤ فلط



الشكل (٣٧) خلية وحيدة موضوعة فى إناء زجاجى



الشكل (٣٨) بطارية تخزين مستخدمة لإدارة المحرك الكهربائى للسيارة (المارش) المستخدم فى عملية بدء التشغيل .

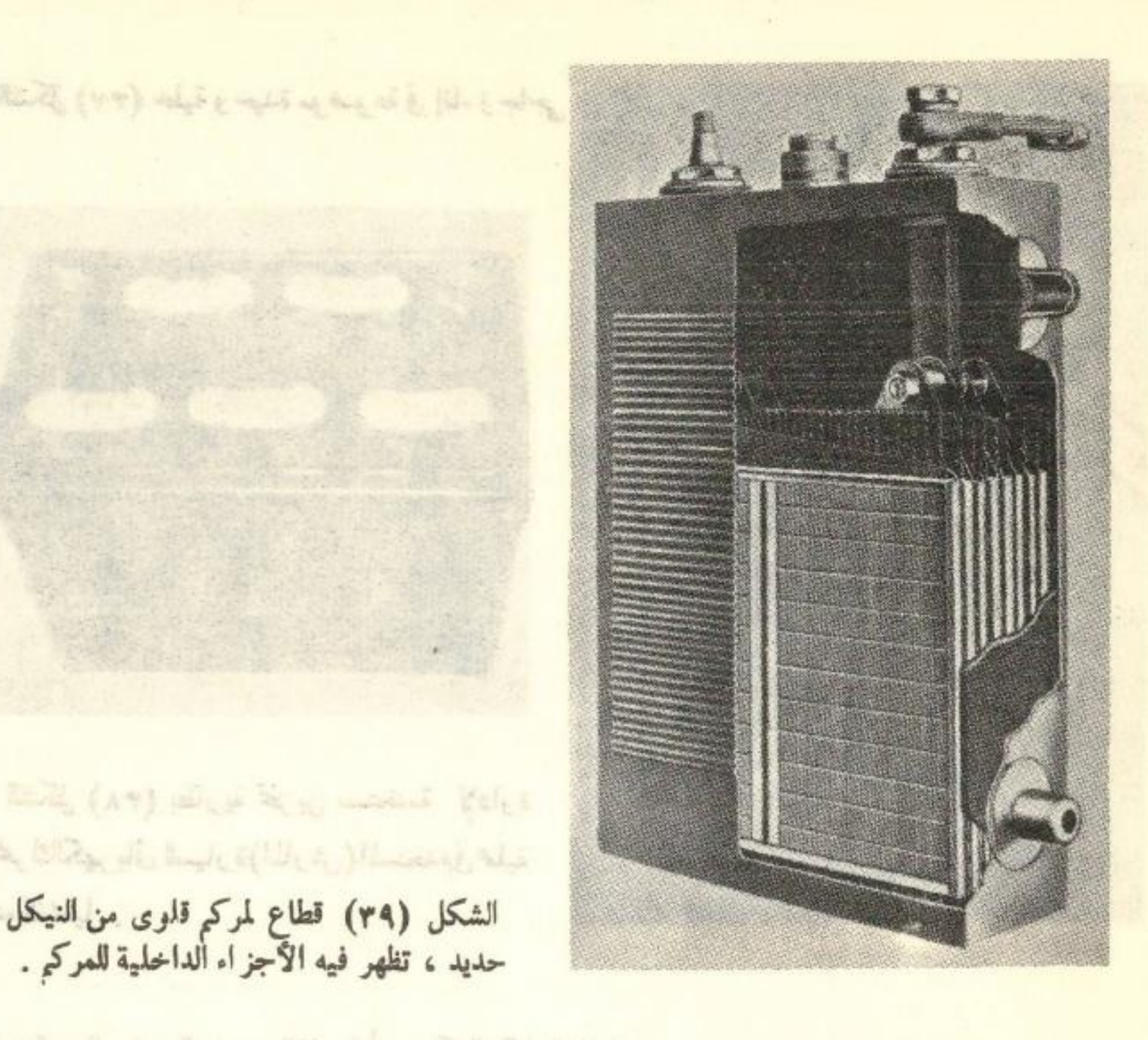
(٢٢) بطاريات التخزين القلوية أو مراكم النيكل القلوية :

يطلق على بطاريات التخزين القلوية فى كثير من الأحيان « المراكم القلوية » أو « مراكم النيكل » . ويتكون المركم من وعاء بغطاء محكم يحوى الأقطاب والإلكتروليت . ويصنع الوعاء والغطاء عادة من ألواح الحديد المطلية بالنيكل . وتمر التوصيلات الخاصة بالأقطاب إلى خارج الوعاء خلال جلب معزولة محكمة . ويتكون القطب الموجب أو الأنود فى المراكم القلوية من لوح من الحديد المنكل ، مثقب على هيئة شبكة ، ومغطى بطبقة من عجينة هيدروكسيد النيكل (ن (يد ا)$_٢$) وهى المادة الفعالة للقطب الموجب . أما القطب السالب فهو عبارة عن لوح مثقب من الحديد المنكل ، ومغطى بطبقة من عجينة هيدروكسيد الحديد (ح (يد ا)$_٢$) وهى المادة الفعالة للقطب السالب . أما الإلكتروليت فهو هيدروكسيد البوتاسيوم .

(٢٣) حالة الشحن وحالة التفريغ للبطاريات القلوية :

١ – حالة الشحن :

تشحن البطاريات القلوية ليتحول القطب الموجب من هيدروكسيد النيكل إلى فوق أكسيد النيكل ، ويتحول القطب السالب من هيدروكسيد الحديد إلى حديد .



الشكل (٣٩) قطاع لمركم قلوى من النيكل – حديد ، تظهر فيه الأجزاء الداخلية للمركم .

ويمكن التعبير عن عملية الشحن بالمعادلة الآتية :

القطب السالب + الإلكتروليت + القطب الموجب .

ح + بويد ا + يد٢ ا + ٢ نى (يد ا)٣

حديد + هيدروكسيد البوتاسيوم + ماء + فوق أكسيد النيكل .

٢ – حالة التفريغ :

أما فى حالة التفريغ ، أى عند توصيل البطارية بدائرة خارجية ، فيتفاعل الحديد مع الإلكتروليت مكونا هيدروكسيد الحديد ، ويتحول فوق أكسيد النيكل إلى هيدروكسيد النيكل ، ويلزم فى هذه الحالة إعادة الشحن ثانية .

ومن الممكن التعبير عن عمليّى الشحن والتفريغ بالمعادلتين الآتيتين :

القطب السالب + الإلكتروليت + ماء + القطب الموجب .

حديد + هيدروكسيد البوتاسيوم + ماء + فوق أكسيد النيكل ← حالة الشحن

هيدروكسيد الحديد + هيدروكسيد البوتاسيوم + ماء + هيدروكسيد النيكل ← حالة التفريغ

ويبين شكل (٣٩) منظرا لقطاع فى مركم قلوى من النيكل – حديد .

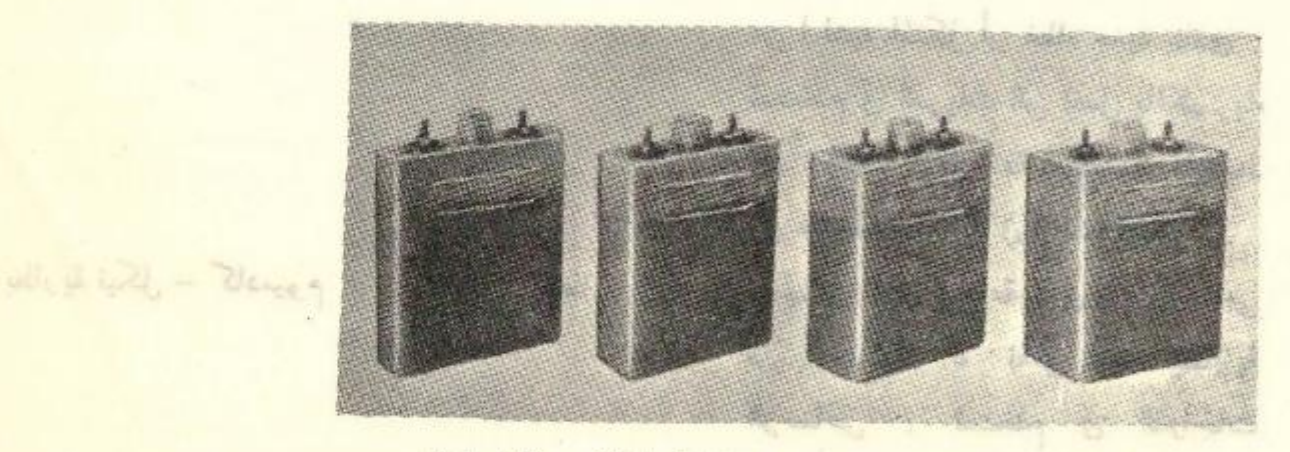
ويجب أن نلاحظ أن السائل الإلكتروليتى فى المراكم القلوية لا تتغير كثافته أثناء عمليات الشحن و التفريغ . وقد أدخل الكثير من التحسينات على مراكم النيكل – حديد بإضافة الكوبلت إلى المادة الفعالة للقطب الموجب للمركم (هيدروكسيد النيكل) ، مما أدى إلى زيادة كفاءة المادة الفعالة بمقدار ٣٠٪ على الأقل . كما أدخلت على البطاريات القلوية عموما تحسينات كثيرة باستخدام الكادميوم كقطب سالب فى هذا النوع من المراكم (بدلا من هيدروكسيد الحديد) مما أدى إلى زيادة كفاءة أداء هذا النوع من المراكم ، وتقليل كمية الغاز المتولد فى البطاريات . وأصبحت مراكم النيكل – كادميوم تفضل على مراكم النيكل – حديد التقليدية ، وخاصة بعد أن أمكن صنع مراكم قلوية من نيكل – كادميوم تتميز بأنها محكمة لا يتسرب منها الغاز أو السائل . فجمعت هذه الأنواع الجديدة من البطاريات القلوية بين مميزات البطاريات الجافة وبين مميزات بطاريات التخزين السائلة ، التى يمكن إعادة شحنها .

وتتميز البطاريات القلوية بقدرة تحملها ، وطول عمر تشغيلها ، وعدم احتياجها إلى عمليات خدمة وصيانة مستمرة ، حيث أنها لا تحتاج إلا إلى إعادة الشحن فقط . كما أنه يمكن ترك البطارية القلوية جافة ، أو بدون شحن لمدة طويلة . وتعتبر البطارية نيكل – كادميوم المحكمة ضد تسرب الغاز أو تسرب السائل مصدرا هاما من مصادر الطاقة التى يفضل استخدامها فى المناجم والأماكن التى قد تحتوى على متفجرات .

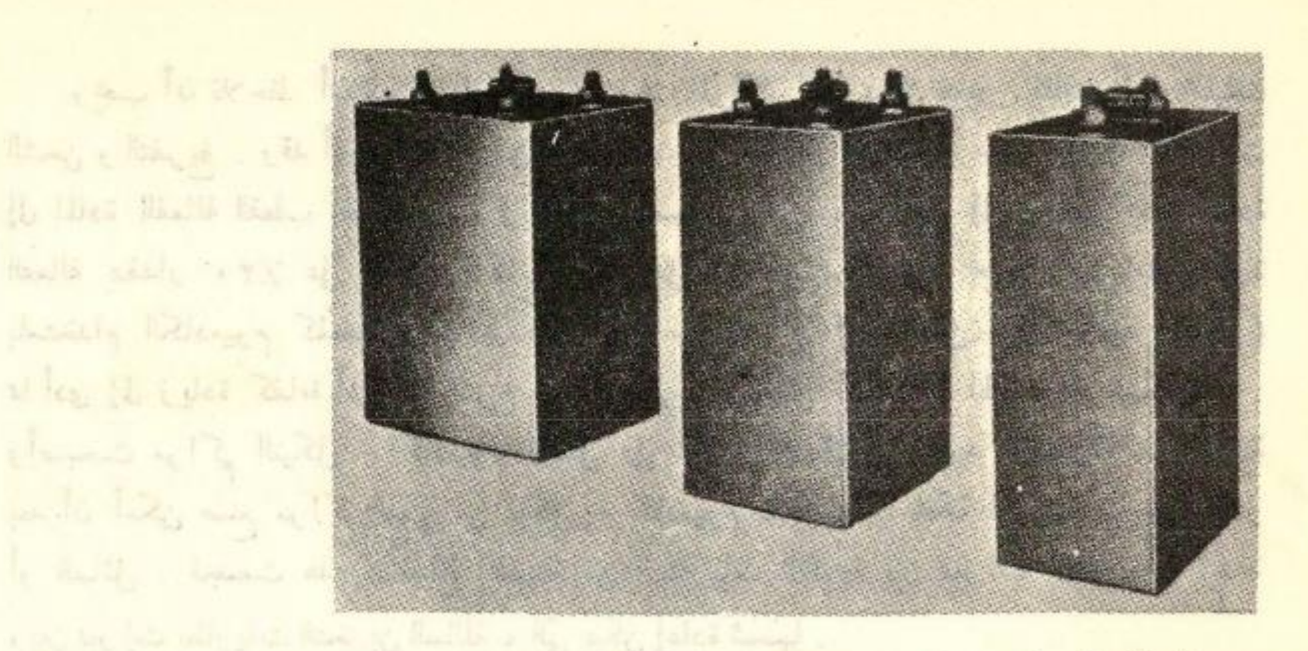
(٢٤) تصنيف بطاريات التخزين القلوية التجارية :

١ – مراكم النيكل – كادميوم التقليدية :

نوع البطارية	الجهد المقنن	السعة ، والاستخدام
خلية وحيدة فى وعاء من البلاستيك .	١,٢ فلط	بسعة ٤ ، ٨ ، ١٢ ، ١٦ أمبير – ساعة ، توضع فى وعاء من بلاستيك البوليسترين المنيع ضد الصدمات . تستخدم فى هندسة الإشارات وفى القياسات الكهربائية .



الشكل (٤٠) خلايا وحيدة موضوعة داخل إناء من البلاستيك



الشكل (٤١) خلايا وحيدة موضوعة داخل إناء من الحديد .



الشكل (٤٢) بطارية نيكل – كادميوم

نوع البطارية	الجهد المقنن	السعة – والاستخدام
خلية وحيدة فى وعاء من الحديد	١,٢ فلط	سعتها ٣٠ إلى ٧٥ أمبير – ساعة ، فى وعاء من الحديد المنكل أو غطاء حديد عادى . تستخدم فى العربات التى تعمل بالكهرباء وفى عمليات الإنارة ذات الضغط المتوسط وفى هندسة الإشارات (وفى المركبات) .
بطارية نيكل – كادميوم	٦ فلط	سعتها ٨ أمبير – ساعة ، فى وعاء زجاجى من البلاستيك له نفس أبعاد بطارية الرصاص . تستخدم فى الدراجات الكهربائية وللإنارة والإشعال .



الشكل (٤٣) خلية على هيئة زرار



الشكل (٤٤) خلية اسطوانية .



الشكل (٤٥) خلية نيكل كادميوم على هيئة زرار

٢ – مراكم النيكل –كادميوم المحكمة ضد تسرب الغاز :

نوع البطارية	الجهد المقنن	السعة ، والاستخدام
بطارية على هيئة زرار (خلية وحيدة)	١,٢ فلط	سعتها ٥ ، ٥٠ ، ٢٢٥ ، ٤٥٠ و ٥٠٠ أمبير – ساعة . ونظرا لصغر حجمها فهى ملائمة للاستخدام فى أجهزة السمع وفى أجهزة القياس وفى أجهزة الترانزستور .
بطاريات دائرية (خلية وحيدة)	١,٢ فلط	سعتها ٣ أمبير – ساعة ، وأبعادها مساوية لأبعاد البطاريات الجافة وحيدة القطب . تستخدم فى نفس الأغراض التى تستخدم فيها البطاريات وحيدة القطب .
بطارية على هيئة زرار نيكل كادميوم		هذه البطاريات عبارة عن مجمع من البطاريات السابقة وتوضع داخل وعاء من البلاستيك وجهد هذه البطاريات إما ٢,٤ أو ٤,٨ أو ٦ أو ٧,٢ فلط
بطاريات منشورية	١,٢ فلط	سعتها ١ ، ٢ ، ٦ ، ٧,٥ أمبير ساعة ، مجمعة فى بطاريات . تستخدم فى هندسة الإشارة وفى الإضاءة وفى هندسة السينما وفى القياسات الكهربائية.

(٢٥) مقارنة بين مراكم الرصاص الحمضية والمراكم القلوية :

مراكم الرصاص	مراكم النيكل– كادميوم التقليدية	مراكم النيكل – كادميوم المحكمة ضد تسرب الغاز
المزايا : لها قدرة عطاء (خرج) كبيرة ، وتتميز بقلة تكاليف تصنيعها وقلة مقاومتها الداخلية ، مما يساعد على سحب تيار كبير منها لمدة قصيرة (كما فى حالة بدء تشغيل العربات) .	المزايا : خفيفة الوزن ، تتحمل الإجهادات الميكانيكية الكبيرة ، وعمر تشغيلها طويل ، ويمكن أن تتعرض للأحمال الزائدة والشحن الزائد ، من الممكن أن تترك فى حالة تفريغ أو وهى جافة دون أن تتأثر .	المزايا : لها نفس مزايا الخلايا القلوية التقليدية ، إلا أنها تمتاز عنها بأنها يمكن وضعها فى أى مكان وبأية كيفية ، كما أنها لا تحتاج لأى عناية خاصة فى تشغيلها أو صيانتها .
العيوب : لا تتحمل الإجهادات الميكانيكية الكبيرة ، وعمر تشغيلها قصير ، كما أنه لا يمكن تحميلها بحمل زائد أو شحنها شحنا زائدا أو تركها فى حالة جفاف ، ويجب أن تبقى مشحونة بصفة مستمرة .	العيوب : تكاليف تصنيعها كبيرة وجهد كل خلية من خلاياها صغير ، وقدرة خرجها (عطائها) صغيرة ، ومقاومتها الداخلية كبيرة .	العيوب : بها نفس العيوب الموجودة فى البطاريات القلوية التقليدية .

ملحوظة :

تسوق جميع المراكم فى الغالب على حالتها الأصلية قبل أن تشحن (ماعدا مراكم النيكل كادميوم المحكمة ضد تسرب الغاز) ، لذلك يجب شحن جميع البطاريات قبل استخدامها .

(٢٦) طرق شحن المراكم وتحديد سعتها وكفاءتها :

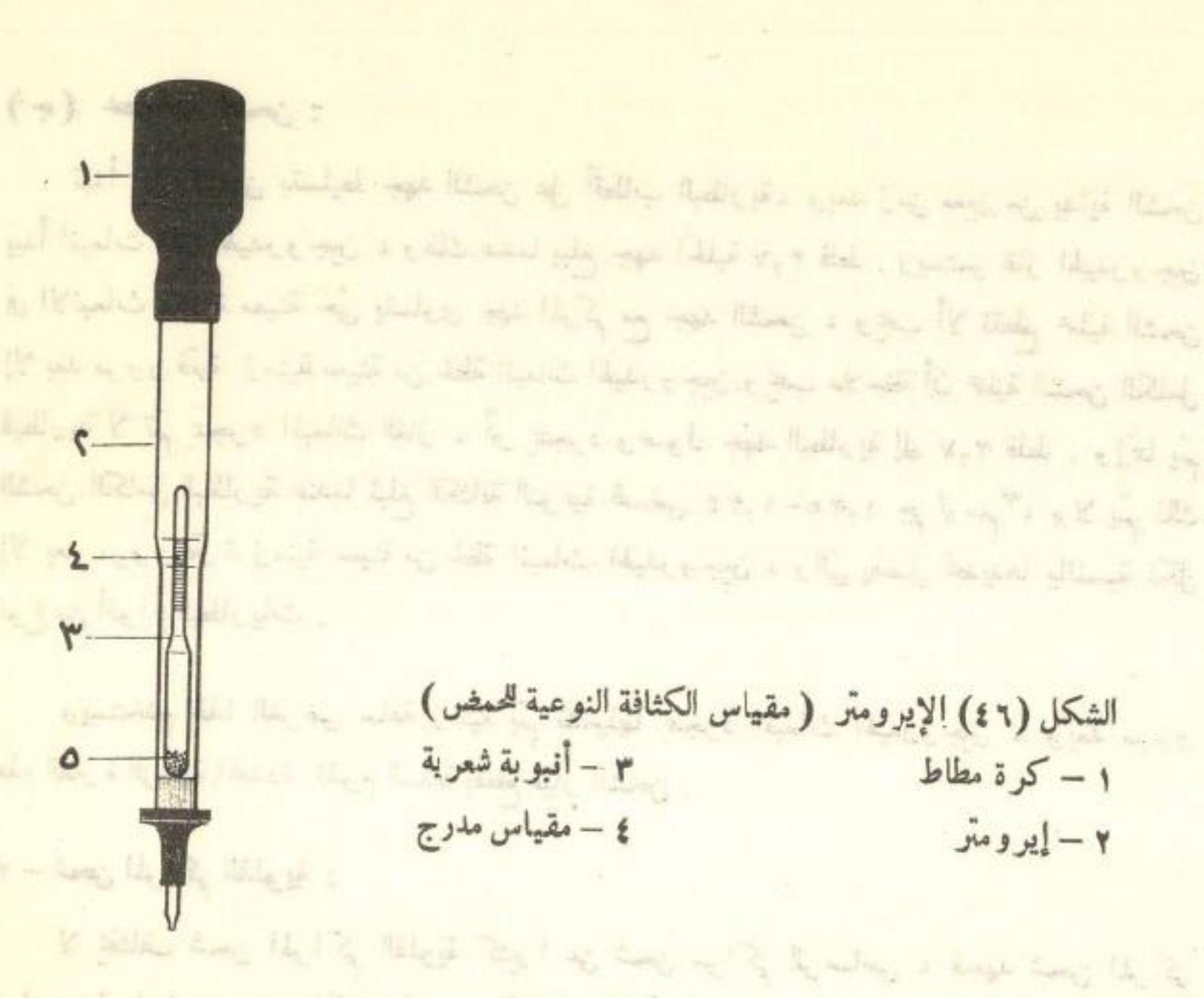
١ – شحن بطاريات الرصاص الحمضية :

تملأ مراكم الرصاص الجديدة بالسائل الإلكتروليتى ، وهو عبارة عن حمض الكبريتيك المخفف الذى لا تقل كثافته عن ١,١٧ : ١,١٨ جم / سم^{٣} (وهى كثافة السائل الإلكتروليتى فى حالة التفريغ) على أن يكون مستوى السائل أعلى من السطح العلوى للألواح بعدة مليمترات .
ولإتمام عملية الشحن بطريقة سليمة يجب مراعاة الآتى :

(أ) مقدار الكثافة النوعية للحمض .

(ب) جهد وتيار الشحن .

(ج) خطوات الشحن .



الشكل (٤٦) الإيرومتر (مقياس الكثافة النوعية للحمض)

١ – كرة مطاط ٣ – أنبوبة شعرية

٢ – إيرومتر ٤ – مقياس مدرج

(أ) مقدار الكثافة النوعية للحمض :

يمكن قياس الكثافة النوعية للحمض بواسطة جهاز يسمى « الإيرومتر » أو « مقياس الكثافة » . ويوضح شكل (٤٦) طريقة عمل هذا الجهاز . حيث يتم سحب كمية من الإلكتروليت الموجود بالخلية إلى الحيز الأنبوبى الزجاجى الرفيع المدرج الموجود بالجهاز ، بواسطة كرة مفرغة من المطاط مثبتة فى طرف الأنبوبة ، ويوجد داخل الأنبوبة جسم عائم عليه مقياس مدرج يمكن بواسطته ، وبالاستعانة بالتدريج الموجود على الأنبوبة ، معرفة قيمة كثافة الحمض ، بقراءة العمق الذى يصل إليه هذا الجسم العائم الموجود فى الفراغ الأنبوبى المدرج . ولا تعتبر الخلية تامة الشحن إلا إذا وصلت الكثافة النوعية للحمض إلى ١,٢٤ – ١,٢٥ جم/سم^{3} .

(ب) جهد وتيار الشحن :

يتم تحديد جهد الشحن للمركم بمعرفة جهد كل خلية وعدد خلايا المركم . وجهد الشحن يساوى حاصل ضرب جهد كل خلية فى عدد خلايا المركم الموصلة على التوالى . فإذا كان جهد الخلية ٢,٧ فلط فإن جهد الشحن = عدد الخلايا × ٢,٧ . أما تيار الشحن فيقوم الصانع بتحديده فى مواصفاته وبياناته التى يجب مراعاتها بكل دقة عند الشحن أو التفريغ لضمان إطالة عمر المركم .

ملحوظة هامـــة :

لا يصح أن ينخفض جهد مراكم الرصاص فى حالة التفريغ عن ١,٨٣ فلط

(ج) خطوات الشحن :

تبدأ عملية الشحن بتسليط جهد الشحن على أقطاب البطارية ، وبعد زمن معين من بداية الشحن يبدأ انبعاث غاز الهيدروجين ، وذلك عندما يبلغ جهد الخلية ٢,٧ فلط . ويستمر غاز الهيدروجين فى الانبعاث لفترة معينة حتى يتساوى جهد المركم مع جهد الشحن ، ويجب ألا تقطع عملية الشحن إلا بعد مرور فترة زمنية معينة من لحظة انبعاث الهيدروجين. ويجب ملاحظة أن عملية الشحن الكامل للبطارية لا تتم بمجرد انبعاث الغاز ، أو بمجرد وصول جهد البطارية إلى ٢,٧ فلط . وإنما يتم الشحن الكامل للبطارية عندما تبلغ الكثافة النوعية للحمض ١,٢٤–١,٢٥ جم / سم^{٣}، ولا يتم ذلك إلا بعد مرور فترة زمنية معينة من لحظة انبعاث الهيدروجين ، والتى يفضل تحديدها بالنسبة لكل نوع من أنواع البطاريات .

ويستخدم لهذا الغرض ساعة زمنية يتم تشغيلها بمجرد انبعاث الهيدروجين ، وبعد مرور هذه الفترة الزمنية المحددة تقوم الساعة بقطع تيار الشحن .

٢ – شحن المراكم القلوية :

لا يختلف شحن المراكم القلوية كثيرا عن شحن مراكم الرصاص ، فجهد شحن المركم يساوى حاصل ضرب عدد الخلايا فى جهد الخلية . كما أن شدة تيار الشحن يحددها الصانع فى بيانات ومواصفات المركم ، إلا أن البطاريات القلوية تختلف عن بطاريات الرصاص فى أن كثافة الإلكتروليت (هيدروكسيد البوتاسيوم) المستخدم فيها تظل ثابتة قبل الشحن وبعده . لذلك يفضل الاعتماد على قيمة جهد الخلايا عند بداية الشحن وعند الانتهاء منه . ويجب شحن البطارية القلوية عند ما يصل جهد الخلية إلى فلط واحد . ويستمر شحن البطارية حتى يصل جهد كل خلية فيها إلى ١,٧٥ فلط فى حالة خلية النيكل – كادميوم ، ١,٨٥ فى حالة البطاريات النيكل – حديد .

وجدير بالذكر أن المراكم القلوية يمكن أن تبقى مخزونة فى حالة عدم شحن ، أو وهى جافة لأى فترة من الزمن ، على عكس الحال فى مراكم الرصاص التى يجب شحنها بمجرد تفريغها .

– سعة المركم :

تعرف سعة المركم بأنها كمية الكهرباء التى يستطيع تخزينها . وهى تساوى حاصل ضرب تيار التفريغ فى زمن مروره ، ويكون تمييزها بالأمبير – ساعة . وبمعنى آخر تكون سعة المركم عبارة عن حاصل ضرب معدل التيار الذى يمكن أن نأخذه منه فى الزمن الذى يستغرقه مرور هذا التيار .

ومن العوامل التى تحدد سعة المركم : الخدمة وعمر التشغيل .

– **كفاءة المركم :**

هناك نوعان من أنواع الكفاءة بالنسبة للبطاريات ، أحدهما يرجع إلى سعة البطارية بالأمبير – ساعة ، والآخر يرجع إلى سعة البطارية بالواط – ساعة .

كفاءة البطارية بالأمبير – ساعة :

تعرف كفاءة البطارية بالأمبير – ساعة بأنها خارج قسمة قدرة خرج المركم بالأمبير – ساعة على قدرة دخل المركم .

$$\text{كفاءة المركم } (\eta) \text{ أمبير / ساعة} = \frac{\text{قدرة خرج المركم (أمبير – ساعة)}}{\text{قدرة دخل المركم (أمبير – ساعة)}}$$

ويكون متوسط قيمة هذه الكفاءة أو الجودة بالنسبة لمراكم النيكل – كادميوم ٧٥و ، وبالنسبة لمراكم النيكل – حديد ٧و . وبالنسبة لمراكم الرصاص ٩٧و٠

كفاءة البطارية بالواط – ساعة :

تعتبر كفاءة البطارية بالواط – ساعة مهمة جدا من الناحية العملية ، وهى تساوى خارج قسمة خرج المركم بالواط – ساعة (فى حالة التفريغ) على قدرة دخل المركم بالواط – ساعة (فى حالة الشحن) .

$$\text{(كفاءة المركم) } (\eta) \text{ واط – ساعة} = \frac{\text{قدرة خرج المركم بالواط – ساعة (فى حالة التفريغ)}}{\text{قدرة دخل المركم بالواط – ساعة (فى حالة الشحن)}}$$

وكفاءة المركم بالواط – ساعة أقل دائما من كفاءته بالأمبير – ساعة ، لأن جهد الشحن يكون عادة أعلى من جهد التفريغ . فإذا كان متوسط جهد الشحن مثلا ١,٦ فلط ، ومتوسط جهد التفريغ ١,١ فلط ، فإن هذا العامل يؤدى إلى انخفاض كفاءة المركم (بالواط – ساعة) بنسبة ٧و٠ عن كفاءة المركم بالأمبير – ساعة . فإذا كانت كفاء المركم بالأمبير – ساعة مثلا هى ٩٥و فإن كفاءته بالواط – ساعة تكون :

= ٩٥و × ٧و = ٦٧٥و واط – ساعة

(٢٧) معدات شحن المراكم :

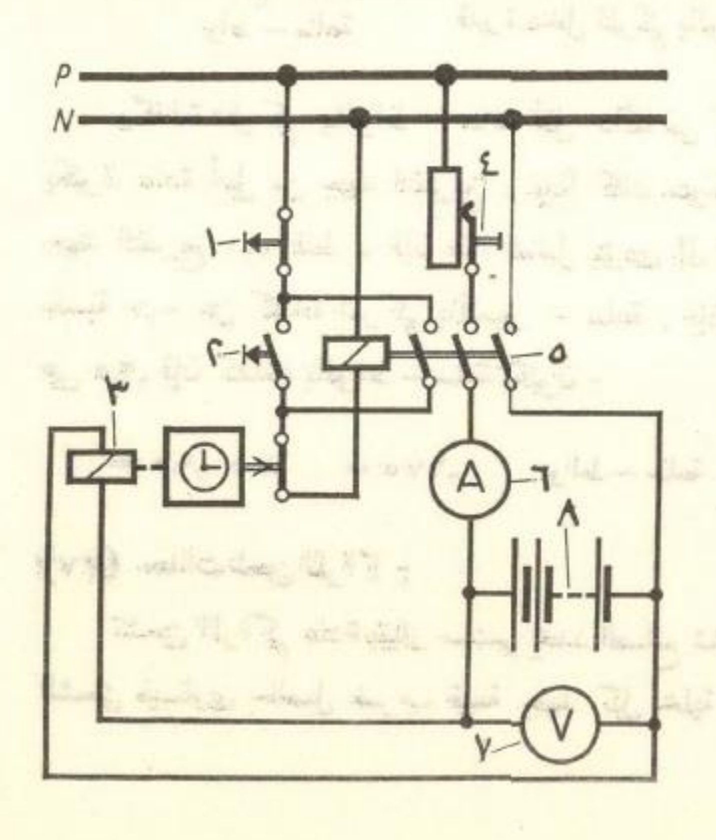
تشحن المراكم عادة بتيار مستمر يحدد الصانع شدته فى مواصفات وبيانات المركم ، أما جهد الشحن فيساوى حاصل ضرب قيمة جهد كل خلية من الخلايا الموجودة بالمركم فى عددها ،

ومن الممكن استخدام معدات شحن بتيار مستمر مباشر أو تيار متردد بعد تقويمه وتحويله إلى تيار مستمر . وفى جميع الأحوال يجب تزويد معدات الشحن بمفتاح يقوم بفصل تيار الشحن عن المركم أتوماتيكيا بعد إتمام عملية الشحن .

١ – معدات شحن بتيار مستمر مباشر :

يبين شكل (٤٧) رسما لدائرة توصيل إحدى معدات الشحن بتيار مستمر مباشر ، وفيه يظهر المفتاح القاطع ، الذى يتكون عادة من مرحل وساعة زمنية (بتعويق زمنى) تقوم بتشغيل المفتاح . ويتم الشحن بالطريقة الآتية :

يسلط جهد الشحن على المراكم عن طريق مقاومة متغيرة لضبط الجهد المطلوب للشحن ، وتوصل هذه المقاومة على التوالى بالبطارية عن طريق المفتاح القاطع . يقوم هذا المفتاح بتوصيل الدائرة بمجرد الضغط عليه . وتستمر عملية الشحن حتى يصل جهد كل خلية من خلايا المركم إلى (٢,٤ – ٢,٧ فلط) (فى مراكم الرصاص مثلا) ، وعندئذ يتصاعد غاز الهيدروجين . وحيث أن عملية الشحن لا تتم إلا بعد مرور فترة زمنية معينة من وصول جهد الخلايا إلى الجهد المقنن (٢,٤ فلط – ٢,٧ فلط) لتصل كثافة الإلكتروليت إلى ١,٢٤ – ١,٢٥ جم/سم٣ لذلك يقوم المرحل بتشغيل الساعة الزمنية عندما يتساوى جهد الخلية مع جهد الشحن . وبعد مرور هذه الفترة الزمنية المعينة تقوم الساعة بتشغيل المفتاح لفصل دائرة الشحن ، وبذلك يمكن التأكد من إتمام الشحن بالطريقة المثلى .



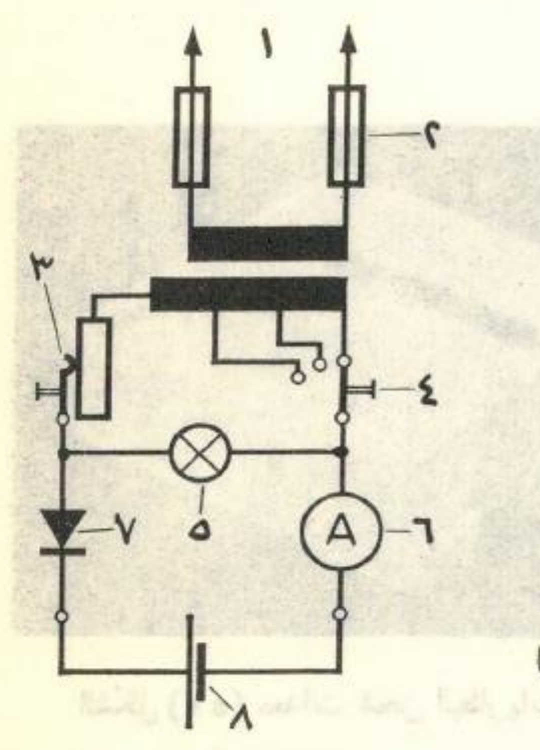
الشكل (٤٧) دائرة شحن البطاريات باستخدام مصدر للتيار المستمر

١ – مفتاح سكينة للفصل
٢ – مفتاح سكينة للوصل
٣ – مفتاح زمنى بمرحل
٤ – مقاومة صغيرة
٥ – مفتاح تلامس
٦ – أميتر
٧ – فلطمتر
٨ – المركم المراد شحنه

٢ – معدات شحن بتيار مستمر ناتج من تقويم تيار متردد :

يبين شكل (٤٨) إحدى دوائر معدات الشحن التى تعمل بالتيار المتردد ، ويتم فيها تقويم التيار المتردد وتحويله إلى تيار مستمر بواسطة مقومات شبه موصلة (من النوع الجاف)، أو مقومات بالتفريغ الغازى (الحرارى الأيونى) . ويكون هذا التقويم إما نصف موجى أو بموجة كاملة. وتستخدم فى الحالة الأخيرة مرشحات مناسبة لتنعيم التيار المستمر الناتج من عملية التقويم .

وهناك طريقتان لتغيير قيمة جهد الشحن المطلوب بالتيار المتردد الأولى باستخدام محول به نقط توصيل بينية ، يمكن عن طريقها الحصول على جهود شحن مختلفة . أما الطريقة الثانية فهى مشابهة تماما لتلك المستخدمة فى معدات الشحن بالتيار المستمر، أى تستخدم مقاومة متغيرة موصلة على التوالى بالمراكم المراد شحنها . وبالرغم من سهولة الطريقة الأخيرة إلا أن الفقد فى المقاومات يعتبر كبيرا جدا إذا قيس بالفقد الناتج فى الطريقة الأولى التى تستخدم فيها محولات بنقط توصيل بينية .



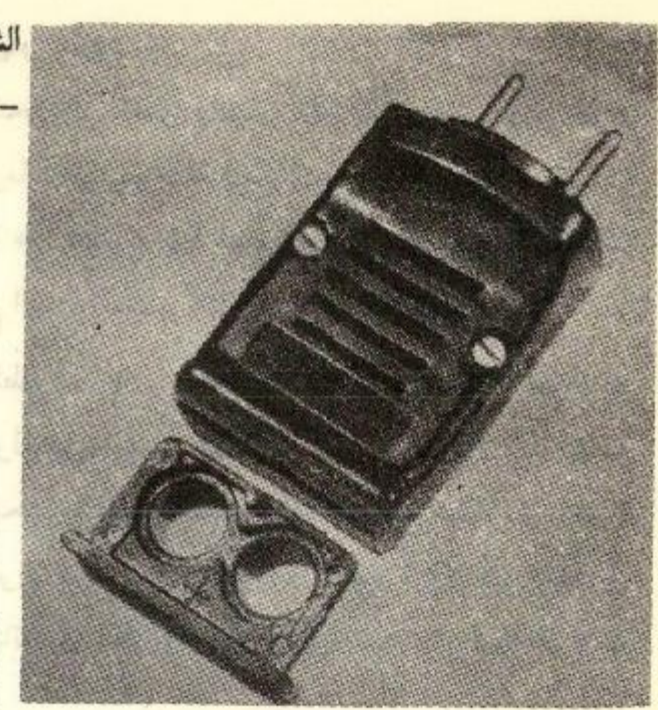
الشكل (٤٨) دائرة شحن للبطاريات باستخدام مصدر للتيار المتردد

١ – مصدر التيار المتردد
٢ – مصاهر
٣ – مقاومة متغيرة
٤ – مفتاح لانتقاء الجهد الملائم
٥ – مصباح بيان
٦ – أميتر
٧ – مقوم
٨ – المراكم المراد شحنها

– أنواع معدات الشحن :

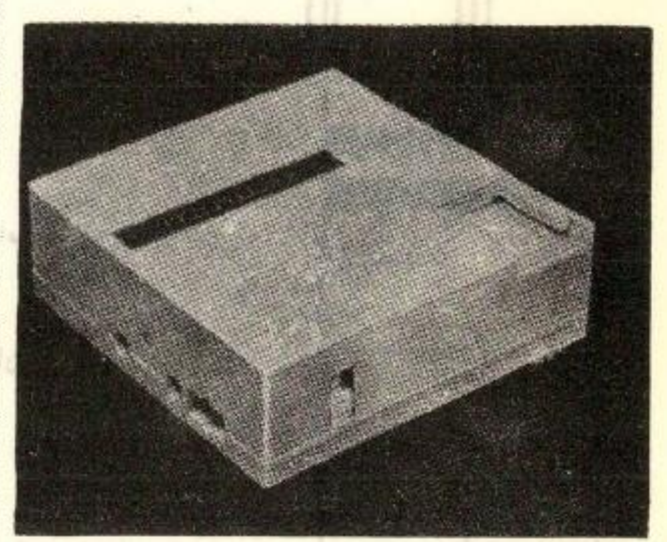
تبين الأشكال من ٤٩ إلى ٥١ عددا من المعدات المستخدمة فى شحن المراكم والبطاريات المختلفة ، ومن المعروف أن هناك العديد من معدات الشحن التى تلائم جميع أنواع المراكم ، سواء أكانت هذه المراكم حمضية (مراكم رصاص) أم قلوية (مراكم النيكل – كادميوم) ، وسواء أكانت ثابتة مثل مراكم التليفونات ومراكم الإضاءة فى الطوارئ أم نقالى مثل مراكم العربات والمركبات . كما توجد معدات لشحن البطاريات الخاصة بأجهزة السمع أو أى نوع آخر من البطاريات .

الشكل (٤٩) معدات شحن البطاريات النيكل - كادميوم الصغيرة التى على شكل زرار .





الشكل (٥١) معدات شحن البطاريات المستخدمة فى بدء تشغيل العربات



الشكل (٥٠) معدات شحن البطاريات المستخدمة فى التصوير .

الباب الثالث

نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية

(٢٨) نظم النقل والتوزيع بجهد عال أو بجهد منخفض :

تنقل الطاقة الكهربائية من محطة توليد القدرة الكهربائية إلى المستهلك بواسطة خطوط أو مواصلات يطلق عليها اسم شبكات النقل والتوزيع الكهربائية أو نظم النقل والتوزيع .

ويبين شكل (٥٢) رسما تخطيطيا لشبكة النقل والتوزيع الطاقة الكهربائية ، والتى تبدأ من محطة توليد القدرة الكهربائية إلى المستهلك . ويظهر فى الرسم وسائل التحكم والإشراف المستخدمة لتحديد الأخطاء وضمان أداء هذه الشبكات بكفاءة عالية. وتنقسم نظم نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية إلى :

(ا) نظم النقل والتوزيع بالجهد العالى .

(ب) نظم النقل والتوزيع بالجهد المنخفض .

(أ) نظم النقل والتوزيع بالجهد العـالى :

تطلق عادة على الجهود التى تزيد على فلطواحد اسم « جهود الضغط العالى » . وتستخدم الجهود العالية فى نقل الطاقة لمسافات بعيدة لتقليل الفقد ثم يخفض الجهد بواسطة محولات قدرة لتوزيع الطاقة بعد ذلك بشبكات الجهد المنخفض . غير أن الكثير من المصانع الكبيرة تغذى عن طريق شبكات الجهد العالى مباشرة . ويتم فى هذه المصانع تحويل الجهد العالى إلى جهد منخفض بواسطة محطة محولات خاصة داخل هذه المصانع .

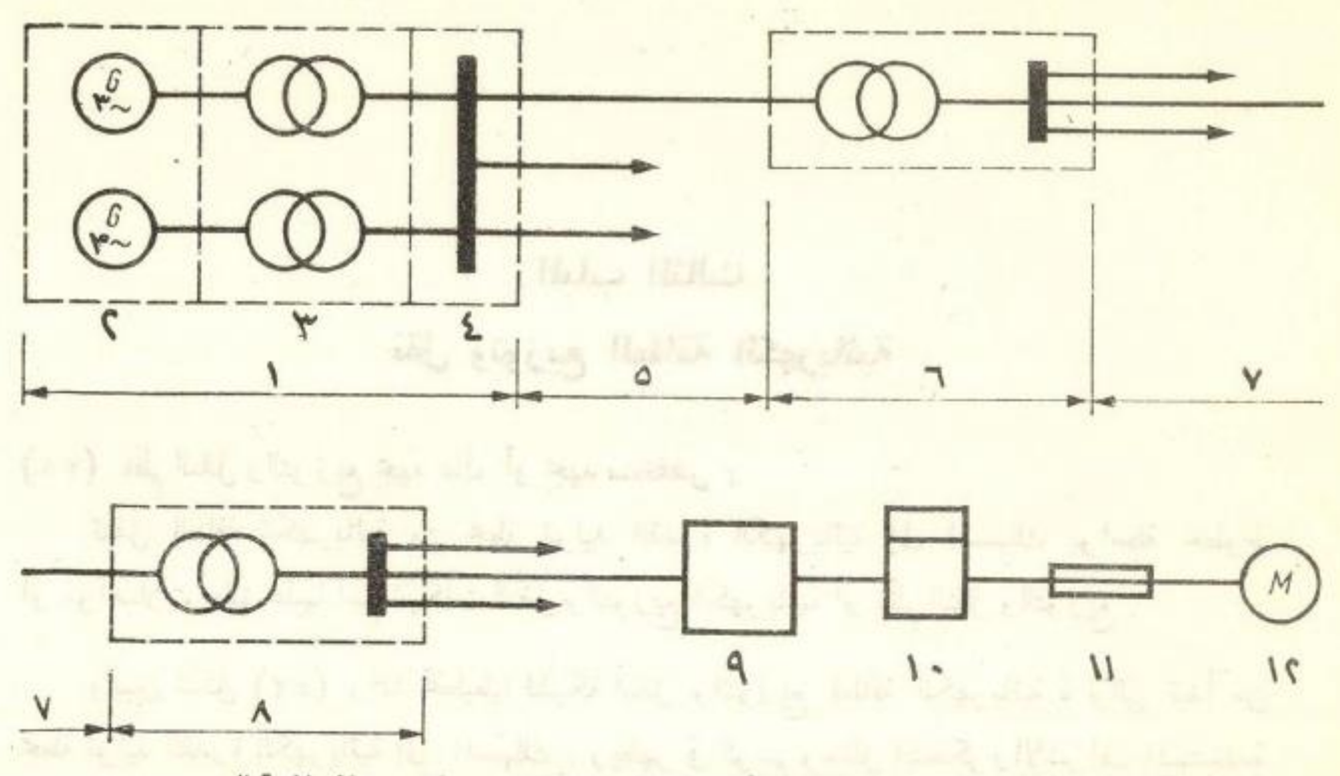
والجهود المقننة المستخدمة فى الجهد العالى هى :

٣ ، ٥ ، ٦ ، ١٠ ، ١٥ ، ٢٠ ، ٣٠ ، ٦٠ ، ١١٠ ، ٢٢٠ ، ٣٠٠ ، ٣٨٠ ك .ف

والاتجاه السائد حاليا هو عدم إقامة أى شبكات توزيع بجهد عال يقل جهدها عن ٣٠ ك .ف . ومن جهة أخرى لا ينصح بإقامة نظم للنقل والتوزيع يزيد جهدها على ٣٨٠ ك. ف . ، حيث أن مثل هذا النظام يصادف صعوبات كثيرة وخاصة بالنسبة لعزل الموصلات .

(ب) نظم النقل والتوزيع بالجهد المنخفض :

يطلق على الجهود التى تزيد على ١٠٠٠ فلط « جهود اضغط المنخفض » . وتوزع الطاقة الكهربائية على معظم المستهلكين العاديين بجهود الضغط المنخفض .



الشكل (٥٢) كيفية توصيل الطاقة الكهربائية من محطة توليد القدرة إلى المستهلك .

١ – معدات محطة القدرة

٢ – مولدات (يتراوح جهدها بين ٦ ك . ف ، ١٠ ك . ف)

٣ – محولات قدرة (لا يزيد جهدها على ٣٨٠ ك . ف)

٤ – محطة المفاتيح وقضبان التوزيع .

٥ – شبكة الجهد العالى .

٦ – محطة المحولات و مجموعة مفاتيح التوزيع (للجهد المتوسط)

٧ – شبكة الجهد المتوسط .

٨ – محطة المحولات و مجموعة مفاتيح التوزيع (للجهد المنخفض)

٩ – شبكة الجهد المنخفض .   ١٠ – التوصيلات المنزلية

١١ – العدادات الكهربائية   ١٢ – الأجهزة المنزلية

ويفضل عادة ألا يزيد طول خط التوزيع المستخدم فى نظم التغذية بالجهد المنخفض ابتداء من محطة المحولات إلى المستهلك على كيلو متر واحد ، وذلك لتقليل الفقد الناتج فى موصلات الجهد المنخفض ، حيث أن شدة التيار المار فى موصلات الجهد المنخفض كبيرة ومساحة مقطع الموصلات صغيرة نسبيا .

وتعتبر الجهد المقننة الآتية أكثر الجهود استخداما فى نظم التغذية بالجهد المنخفض :

الجهود المستخدمة فى نظام التوزيع بالتيار المستمر ١١٠ ، ٢٢٠ ، ٤٤٠ فلط

والجهود المستخدمة فى نظام التوزيع بالتيار المتردد ١٢٥ – ٢٢٠ – ٣٨٠ – ٥٠٠ فلط .

وقد تقسم جهود النقل والتوزيع فى بعض الأحيان إلى :

– جهد منخفض ، وهو الذى لا تزيد قيمته على ١ ك.ف .

– جهد متوسط ، وهو الذى تتراوح قيمته بين ١ ك.ف ، ٣٠ ك.ف .

– جهد عال ، وهو الذى تتراوح قيمته بين ٣٠ ك.ف ، ٣٨٠ ك.ف .

وتتركب نظم النقل والتوزيع إما من كبلات مدفونة فى الأرض أو من موصلات علوية (خطوط هوائية). وتنقل الطاقة الكهربائية فى نظام الجهد العالى أساسا بواسطة الخطوط الهوائية، غير أن هناك بعض الأحوال الخاصة التى تستخدم فيها الكبلات لنقل الطاقة فى نظم الجهد العالى .

أما فى نظام الجهد المنخفض فتستخدم الكبلات أساسا فى النقل والتوزيع. وقد تستخدم الخطوط الهوائية فى بعض الأحيان خارج المدن وفى الأماكن المكشوفة، وذلك تبعا لظروف التشغيل المحلية المختلفة .

(٢٩) الكبلات الأرضية :

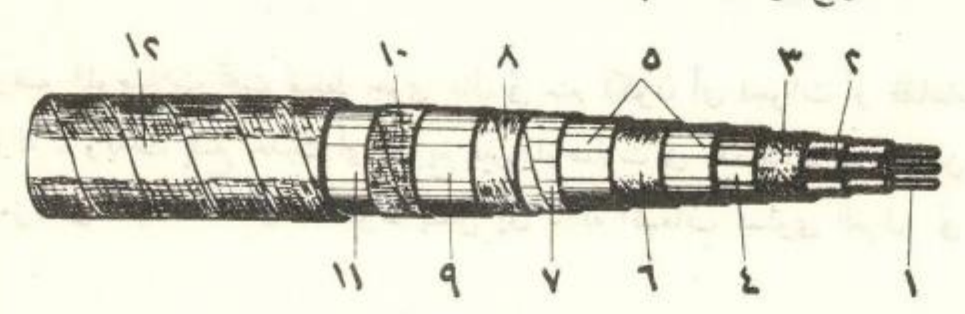
يبين شكل (٥٣) تصميما لكبل أرضى مكون من ثلاثة موصلات .

ويستخدم النحاس عادة كموصل فى الكبلات الأرضية ، وقد يستخدم الألومنيوم حاليا كبديل للموصلات النحاسية فى بعض الكبلات .

ويلاحظ من الرسم أن جميع الموصلات فى الكبل تكون معزولة تماما ، كما يعزل الكبل من الخارج لمنع حدوث أى تيار قصر أو تيار تسرب بين الموصلات بعضها وبعض، أو بين الموصلات والأرض.

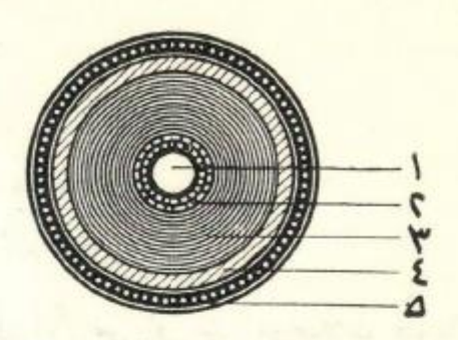
وتتميز كبلات الجهد العالى عن كبلات الجهد المنخفض بقوة عزل كهربائية عالية .

وهناك عدة أنواع من كبلات الجهد العالى أهمها :



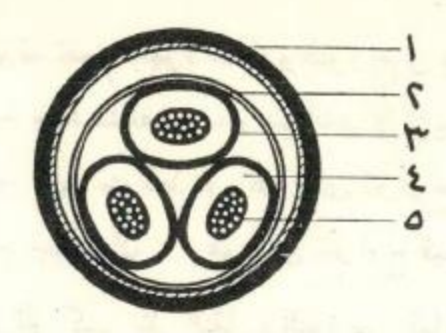
الشكل (٥٣) تصميم كبل أرضى للجهد العالى

١ – موصل الكبل
٢ – ورق مشرب بالزيت
٣ – عازل بيتومين
٤ – غطاء من الرصاص
٥ – مركب عازل
٦ – غطاء من المطاط
٧ – ورق مشرب بالزيت
٨ – شريط من الصلب لحماية الكبل
٩ – مركب عازل
١٠ – شريط مشرب بالعازل
١١ – مركب عازل
١٢ – شريط مضفر



الشكل (٥٤) مقطع لكبل أرضى مملوء بالزيت

١ – ماسورة (مجرى) الزيت
٢ – موصل متعدد الأسلاك
٣ – عازل
٤ – شريط من الرصاص
٥ – شريط من الصلب لحماية الكبل



الشكل (٥٥) قطاع فى كبل أرضى بغاز مضغوط

١ – أنبوبة من الصلب معزولة من الداخل
٢ – حامل للأسلاك المعزولة
٣ – غطاء من الرصاص يحيط بالموصلات
٤ – عازل
٥ – موصلات

(أ) الكبلات المملوءة بالزيت :

يبين الشكل (٥٤) كبلا مملوءا بالزيت ، وفيه يلعب الزيت دورا هاما فى عمل طبقة عازلة رقيقة بين الموصلات تتميز بمستوى عزل عال .

(ب) كبلات الغاز المضغوط :

وفيها توضع الموصلات المعزولة داخل أنبوبة من الصلب مملوءة بالهواء (تحت ضغط يتراوح بين ٨ ، ١٥ ضغط جوى) ، أو بغاز النيتروجين (تحت ضغط يتراوح بين ٤ ، ١٤ ضغط جوى) .

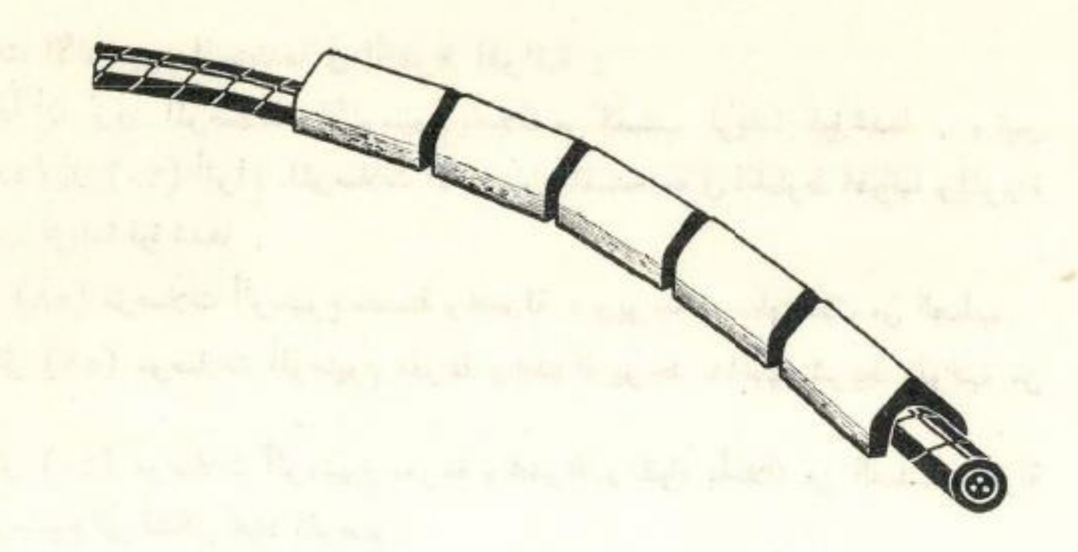
ويفيد وضع الموصلات تحت ضغط جوى عال فى منع تكون أى فجوات أو فقاعات هوائية فى المواد العازلة ، وبذلك يمنع حدوث أى تفريغ بين الموصلات فى هذه الكبلات ، ومن المعروف أن مستوى العزل فى كبلات الغاز المضغوط يصل إلى ثلاثة أضعاف مستوى العزل فى الكبلات العادية .

– طرق وضع الكبلات فى الأرض :

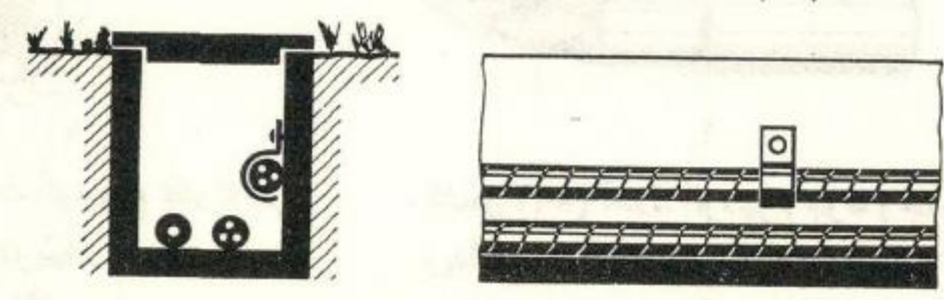
عند وضع الكبلات فى الأرض سواء فى نظم التوزيع بالجهد المنخفض أو بالجهد العالى يراعى الآتى :

١ – يجب دفن الكبلات على عمق يزيد على العمق الذى تصل إليه عمليات الحفر العادية (مد مواسير المياه فى الأرض ، مثلا) .

٢ – يجب حماية الكبلات من التلف الميكانيكى أثناء عمليات الحفر بوضعها داخل غلاف حجرى ، كما فى شكل (٥٦) ، أو فى مجارى أو خنادق مصممة لهذا الغرض كما فى شكل (٥٧) .



الشكل (٥٦) كبل أرضى محمى داخل غطاء حجرى على شكل قلنسوة



الشكل (٥٧) كبل أرضى موضوع داخل خندق (مجرى أرضية)

(٣٠) الخطوط الهوائية :

تستخدم الموصلات الألومنيوم حاليا فى الخطوط الهوائية لشبكات النقل لخفة وزنها وقلة تكاليف تركيب وإنشاء الأبراج الحاملة لها . فن المعروف أن استخدام الموصلات النحاسية فى الخطوط الهوائية يؤدى إلى زيادة كبيرة فى تكاليفها وتكاليف إنشاء الأعمدة والأبراج الحاملة لها . ويعيب الموصلات الألومنيوم أن مقاومتها النوعية أعلى من المقاومة النوعية للموصلات النحاسية ، وأن مقدار الارتخاء فى الخطوط الألومنيوم يتغير تغيرا كبيرا باختلاف درجات الحرارة وأن قوة شدها صغيرة ..

لذلك يجب مراعاة ما يلى عند تركيب الموصلات الألومنيوم فى الخطوط الهوائية .

(ا) أن تكون قوة الشد المسلطة على الموصلات الألومنيوم صغيرة نسبياً .

(ب) أن تكون المسافة بين المواصلات (الخطوط) أكبر ما يمكن وذلك لأسباب اقتصادية .

(ج) أن يكون الارتخاء مطابقاً للأبعاد القياسية ، علماً بأن هذا الارتخاء يتغير تغيراً كبيراً باختلاف درجات الحرارة .

وفيما يلى وصف مبسط للأجهزة والمواد والمعدات المستخدمة فى تركيب الخطوط الهوائية .

(أ) الموصلات الألومنيوم المستخدمة فى الخطوط الهوائية :

يفضل دائماً أن تزود الموصلات الألومنيوم بأسلاك من الصلب لزيادة قوة شدها . وتبين الأشكال من (٥٨) إلى (٦٠) أنواع الموصلات الألومنيوم المستخدمة فى الخطوط الهوائية والمزودة بأسلاك من الصلب لزيادة قوة شدها .

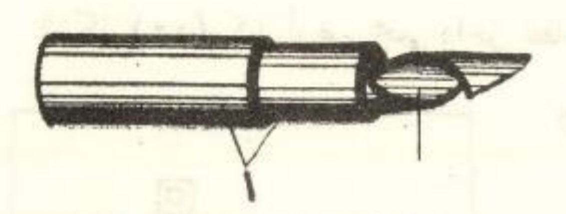
يبين شكل (٥٨) موصلات ألومنيوم مصمتة ومجدولة ، ويوجد بوسطها سلك من الصلب.

ويبين شكل (٥٩) موصلات ألومنيوم مفرغة ومجدولة يوجد بداخلها شريط ملولب من الصلب .

ويبين شكل (٦٠) موصلات ألومنيوم مفرغة ومجدولة ومقواه بأسلاك من الصلب مدفونة داخل طبقة الألومنيوم التى تشكل محيط الموصل .



شكل (٥٨) موصلات ألومنيوم مجدولة يمر فى قلبها سلك صلب لتقويتها .
١ – الموصلات الألومنيوم
٢ – الأسلاك الصلب .



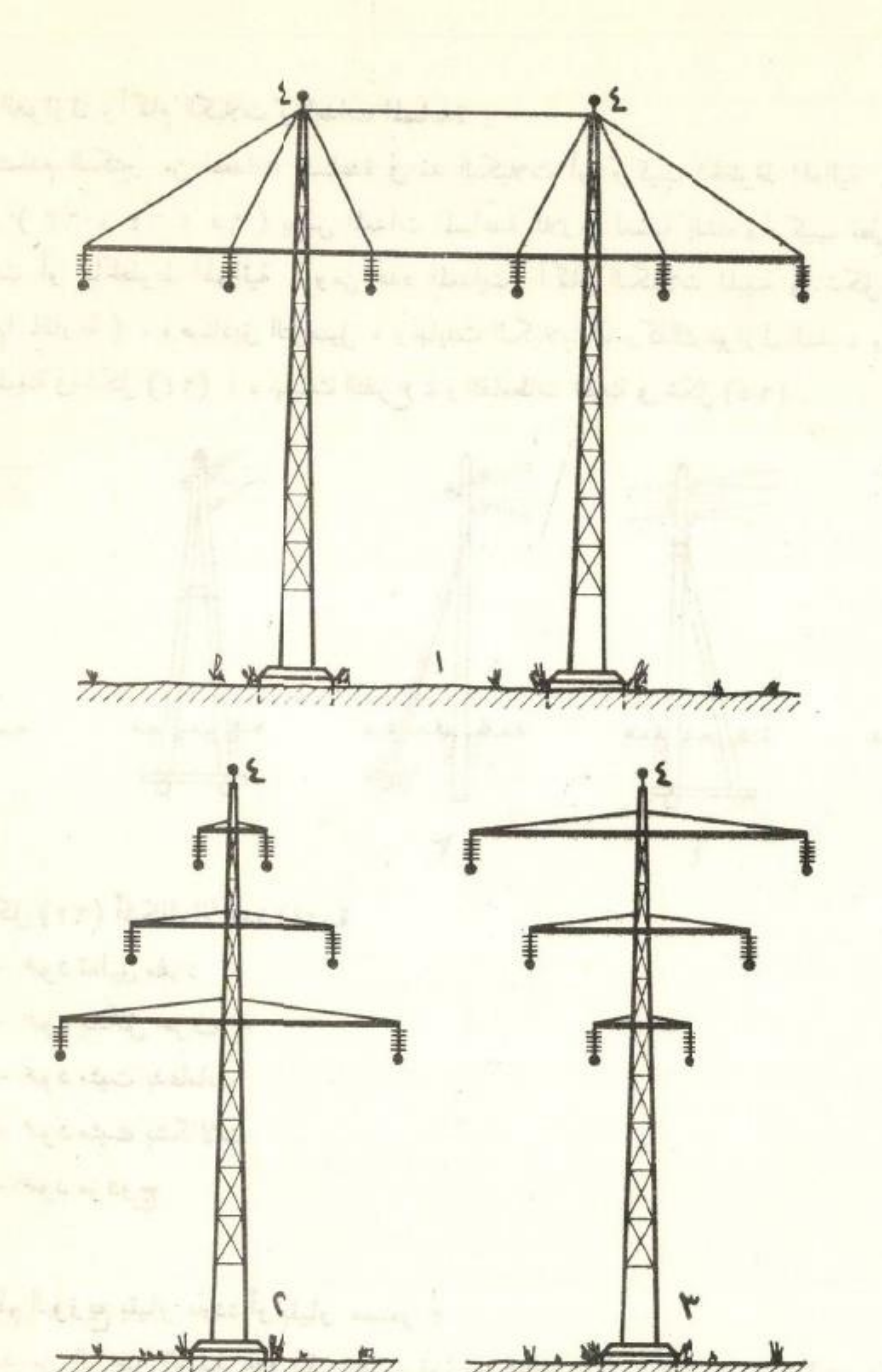
الشكل (٥٩) أسلاك ألومنيوم مجوفة ومجدولة وبداخلها شريط صلب ملفوف للتقوية :
١ – الموصل الألومنيوم
٢ – الشريط الصلب الملفوف



الشكل (٦٠) موصل أجوف من الألومنيوم ، يوجد بالخامة التى تشكل محيطه أسلاك من الصلب مدفوعة فيه لتقويته .

(ب) الأبراج والأعمدة المستخدمة فى التركيبات الكهربائية للخطوط الهوائية :

تستخدم الأبراج الحديدية ذات التصميم التشابكى أو الأبراج الحديدية المقواة بدعائم ، فى حمل الخطوط الهوائية لنقل الطاقة الكهربائية بجهد عال ، بينما تستخدم الأعمدة الخشبية والخرسانية عادة فى حمل الخطوط الهوائية لنقل الطاقة بجهد منخفض . ويبين الشكل (٦١) عدة أنواع من الأبراج الحديدية ذات التصميم التشابكى (المزودة بدعائم تقوية) والمستخدمة فى الجهد العالى . ويبين الشكل (٦٢) بعض أنواع الأعمدة الخشبية ، مثل أعمدة التعليق أو الأعمدة المثبتة بدعامات أو الأعمدة المزدوجة . . . إلخ ، والمستخدمة فى الجهد المنخفض . وحيث أن هذه الأعمدة تستخدم بصفة رئيسية فى حمل الموصلات ، لذلك يفضل تثبيتها بطريقة تمكنها من تحمل الإجهادات الناتجة من الشد الذى تسببه هذه الموصلات .



الشكل (٦١) أشكال الأبراج الحديدية ذات التصميم التشابكى

١ – برج بابى (على هيئة باب)

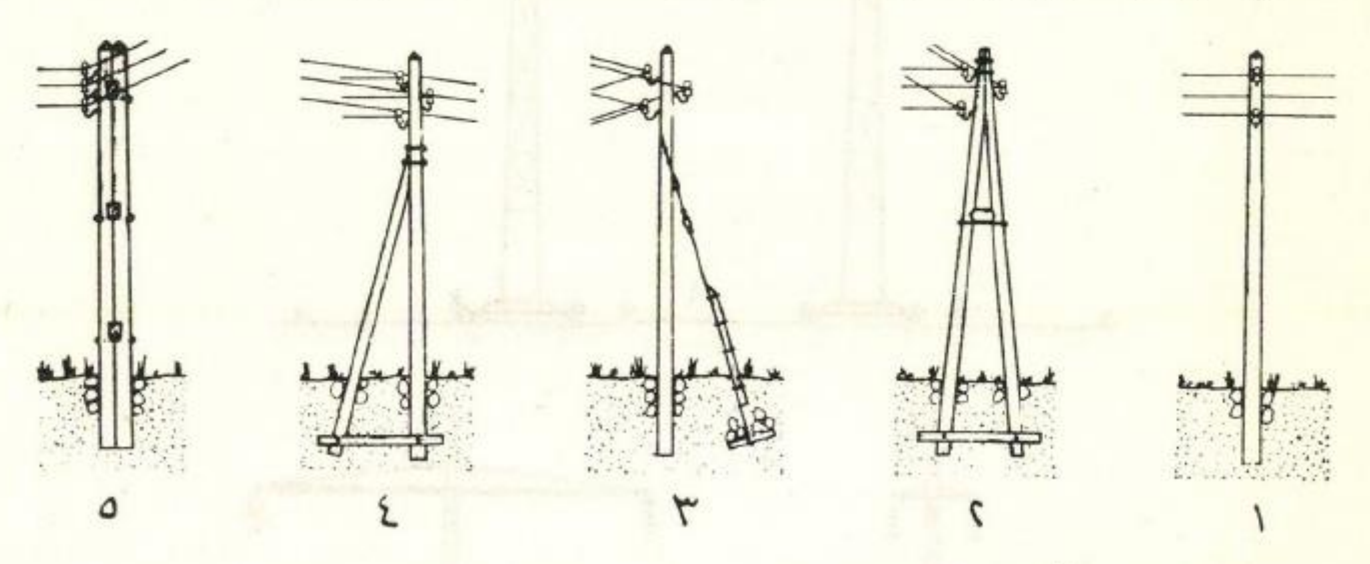
٢ – برج على هيئة شجرة الأرز

٣ – برج على هيئة شجرة الأرز المقلوبة

٤ – كبلات للتأريض (توضع أعلى البرج لحمايته من الصواعق ، كما تستخدم فى التأريض لضمان السلامة)

(ج) العوازل وأكمام الكبلات والمعدات المساعدة :

يستخدم الكثير من المعدات المساعدة فى مد الكبلات أو تركيب الخطوط الهوائية . وتبين الأشكال (٦٣ ، ٦٤ ، ٦٥) بعض المعدات المساعدة اللازمة لعملية إنشاء وتركيب نظم التغذية بالكبلات أو بالخطوط الهوائية . ومن هذه المعدات أكمام الكبلات المبينة فى شكل (٦٣) (الأكماما لمقارنة) ، وصناديق التوصيل ، ونهايات الكبلات ، وكذلك عوازل الشد ، وعوازل التعليق المبينة فى شكل (٦٤) ، ونهايات التفرع ، والقامطات المبينة فى شكل (٦٥) .



الشكل (٦٢) أشكال الأعمدة الخشبية

١ – عمود تعليق مفرد

٢ – عمود بشكل حرف A

٣ – عمود مثبت بدعامات

٤ – عمود مثبت بشكالات

٥ – عمود مزدوج

(٣١) نظم التوزيع بتيار متردد أو بتيار مستمر :

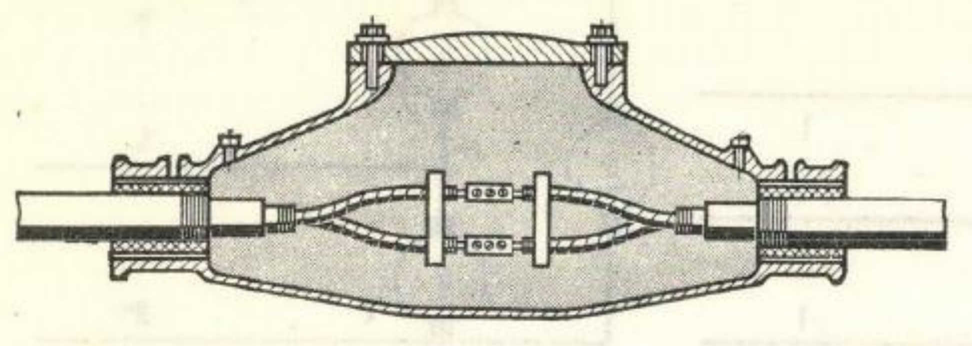
يوجد من الناحية العملية عدة نظم لنقل وتوزيع الطاقة الكهربائية من المولدات مباشرة . وفيما يلى مسح لأكثر نظم التوزيع المستخدمة شيوعاً ، مع ملاحظة أن بعض هذه النظم لا يستخدم حالياً فى تركيب أو إنشاء شبكات التغذية الجديدة .

– نظم توزيع التيار المستمر :

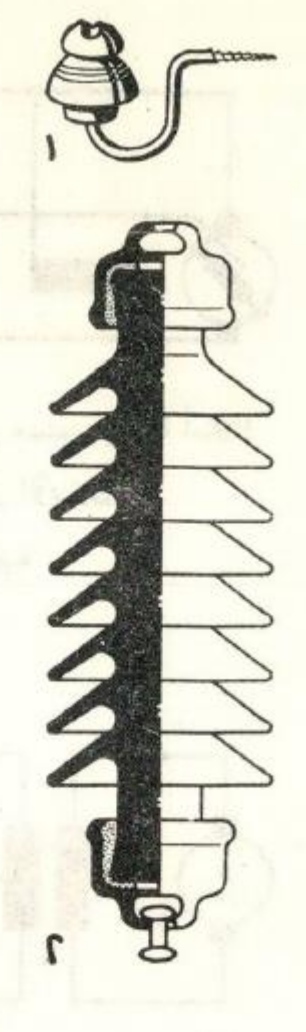
تبين الأشكال (٦٦ إلى ٦٩) النظم المختلفة لتوزيع التيار المستمر .

– نظم توزيع التيار المتردد :

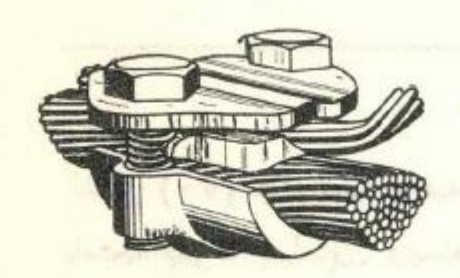
تبين الأشكال (٧٠ إلى ٧٣) النظم المختلفة لتوزيع التيار المتردد .



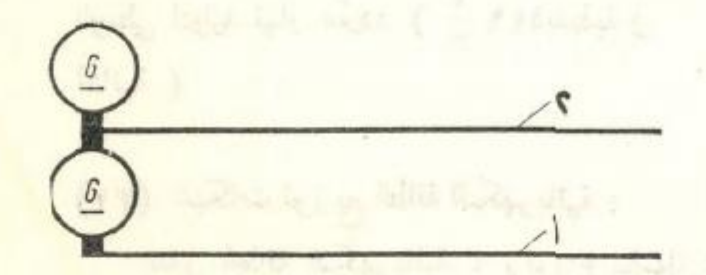
شكل (٦٣) كم قارن للكبل (ترتيبة لتوصيل كبلين معا)

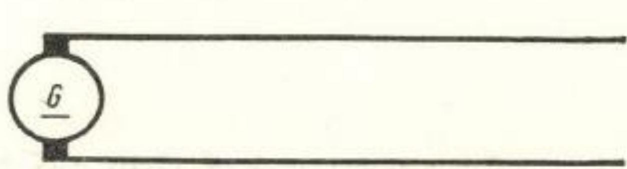


الشكل (٦٤) العوازل
١ — عازل شد
٢ — عازل تعليق (ذو طاقية ومسمار)



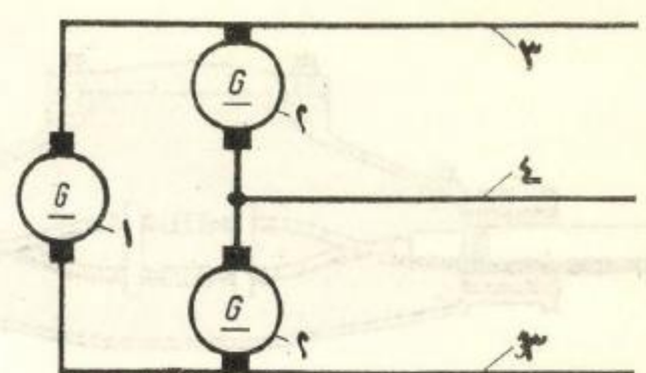
الشكل (٦٥) قامطة مخلبية للخطوط الهوائية



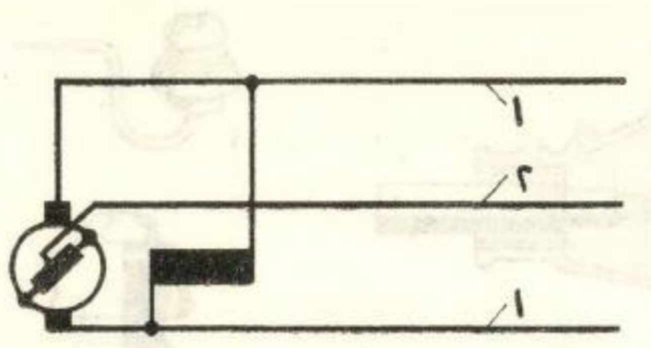


الشكل (٦٦) نظام تيار مستمر بسلكين

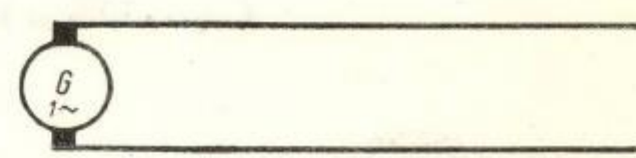
الشكل (٦٧) نظام تيار مستمر بثلاثة أسلاك. يمكن الحصول على هذا النظام بتوصيل مولدين على التوالى
١ — الموصلات الخارجية ٢ — الموصل المتعادل



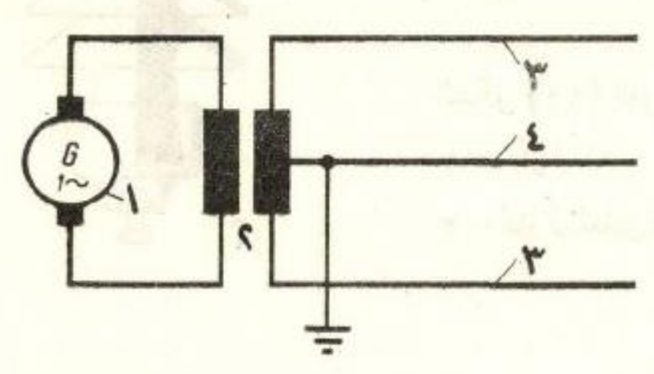
الشكل (٦٨) نظام تيار مستمر بثلاثة أسلاك تستخدم فيه المولدات الموازنة
١ – المولد الرئيسى
٢ – المولدات الموازنة
٣ – الموصلات الخارجة
٤ – الموصل المتعادل



الشكل (٦٩) نظام تيار مستمر بثلاثة أسلاك يستخدم فيه المولد الثلاثى الأسلاك
١ – الموصلات الخارجية
٢ – الموصل المتعادل



الشكل (٧٠) نظام توليد وحيد الطور بسلكين باستخدام مولد بسلكين. ويستعمل هذا النظام أساسا فى الجر الكهربائى فى بعض بلدان أوروبا الوسطى لتوليد تيار متردد ($16\frac{2}{3}$ ذبذبة فى الثانية)



الشكل (٧١) نظام وحيد الطور بثلاثة أسلاك باستخدام محول

١ – مولد	٣ – الموصل الرئيسى
٢ – محول	٤ – الموصل المتعادل

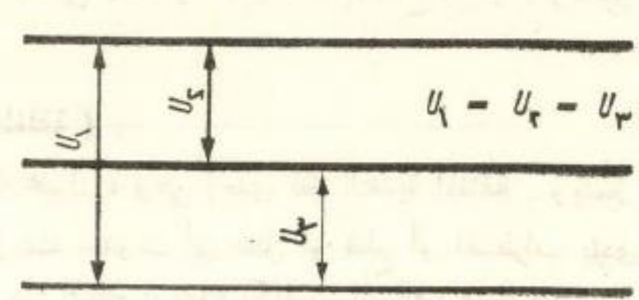
(٣٢) شبكات توزيع الطاقة الكهربائية :

تنقل الطاقة الكهربائية ، وتوزع بواسطة شبكات تغذية مكونة من موصلات مركبة بطرق مختلفة . وفيما يلى موجز لمتطلبات اللازم توافرها فى شبكات التغذية وأنواعها المختلفة .

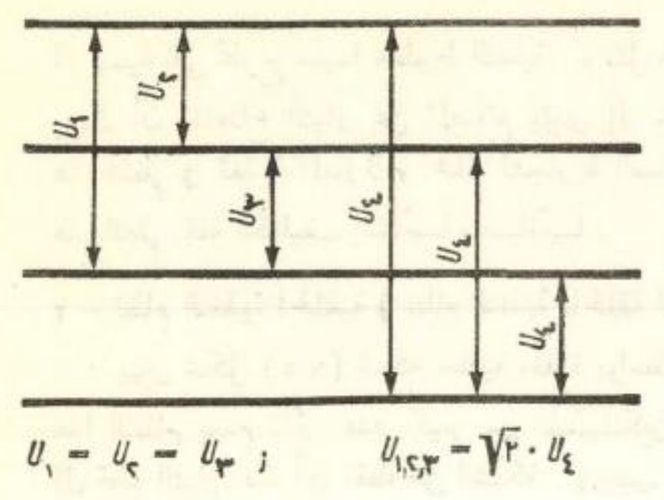
المتطلبات اللازم توافرها فى شبكات التغذية المختلفة :

يجب أن تتوافر المتطلبات الآتية فى شبكات التغذية .

(ا) أن تكون لديها قدرة عالية للأداء والخدمة المستمرة .



الشكل (٧٢) نظام ثلاثى الأطوار بثلاثة أسلاك



الشكل (٧٣) نظام ثلاثى الأطوار بأربعة أسلاك
١ – الموصل الرئيسى ٢ – الموصل المتعادل

(ب) أن تكون مصممة بحيث تقلل من عدد الأخطاء والاضطرابات والخلل والأعطال التى تحدث فيها . وأن يكون بها وسائل للتحكم والإشراف ، وأن تصمم بطريقة تسهل تحديد مواقع الأخطاء التى قد تحدث مع إمكان حصرها فى أضيق نطاق .

(ج) ألا تؤدى إلى هبوط الفلطية (أى أن يبقى جهد التوزيع ثابتاً ما أمكن) .

(د) ألا تؤدى إلى زيادة كبيرة فى تكاليف نقل الطاقة وتوزيعها (أى تكون تكاليف إنشائها وصيانتها اقتصادية) .

(هـ) أن يكون تصميم الشبكة بحيث يسمح بعمليات التوسع فى مدها مستقبلا .

ومن المعروف أن هذه المتطلبات كلها لا يمكن تحقيقها جميعاً فى كافة الظروف ، لذلك تصمم شبكات التغذية لتفى بهذه المتطلبات كلما أمكن ذلك .

أنواع شبكات النقل والتغذية :

فيما يلى شرح لأكثر أنواع الشبكات انتشاراً ، مع شرح مبسط لمزايا وعيوب كل منها :

١ – نظام التغذية نصف القطرى : (شبكة التغذية الإشعاعية)

يبين شكل (٧٤) شبكة توزيع إشعاعية (نصف قطرية) ، وهى إحدى نظم التغذية المفتوحة التى تتم فيها عملية التغذية من جانب واحد ، وفيها تخرج الخطوط المختلفة إلى مواقع الاستهلاك من نقطة واحدة . ويعيب هذا النظام أنه إذا حدث قطع أو خلل أو اضطراب أو قصر دائرة فى أية نقطة بالشبكة ، فإنه يؤدى إلى انقطاع التيار عن جزء كبير من المستهلكين . ويزيد عدد المستهلكين الذين يتأثرون بانقطاع التيار كلما كانت نقطة الخطأ أو الاضطراب قريبة من نقطة التغذية

الرئيسية التي تخرج منها خطوط التغذية . ومثل هذه الشبكات لا تستخدم في تغذية المصانع الكبيرة ، حيث أن انقطاع التيار عن المصانع يؤدى إلى خسارة جسيمة ونقص في الإنتاج ويفضل استخدام هذه النظم في تغذية المنازل والمحال التجارية الصغيرة التي لا تتأثر كثيراً عند إنقطاع التيار . وتتميز هذه النظم بقلة تكاليف إنشائها وصيانتها .

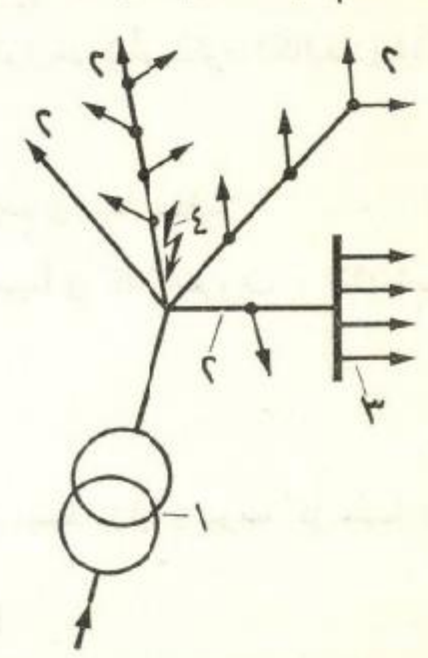
٢ – نظام التغذية الحلقية (نظام التغذية بالحلقة المغلقة) :

يبين شكل (٧٥) شبكة حلقية مغذاة بواسطة محول ، وهي إحدى نظم التغذية المغلقة . ويتميز هذا النظام بعدم تأثر عدد كبير من المستهلكين عند حدوث أي عطل أو قطع أو اضطراب يؤدى إلى قطع التيار عند أي نقطة من الشبكة . ويعيب هذا النظام ارتفاع تكاليف إنشائه وصيانته .

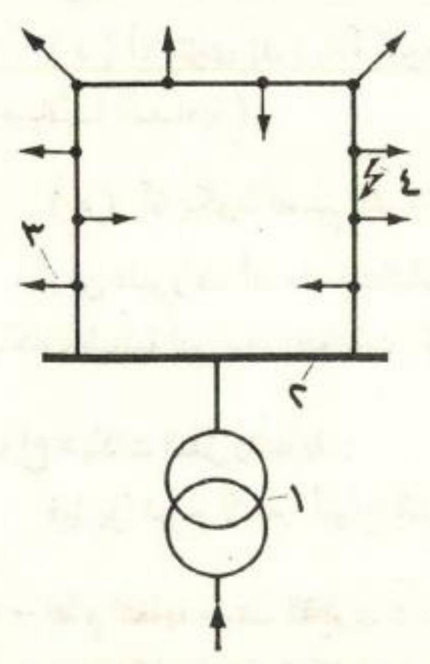
ويفضل في نظام التغذية الحلقي مراعاة أبعاد وأطوال الموصلات المستخدمة فيه وحسابها بدقة بحيث لا يؤدى صغر مساحة مقطع الموصلات إلى انخفاض الجهد لدى المستهلكين الموجودين في نهاية الحلقة ، وخاصة إذا حدث الخطأ أو القطع عند نقطة من النقط القريبة من القضبان الرئيسية .

٢ – نظام التغذية النجمي :

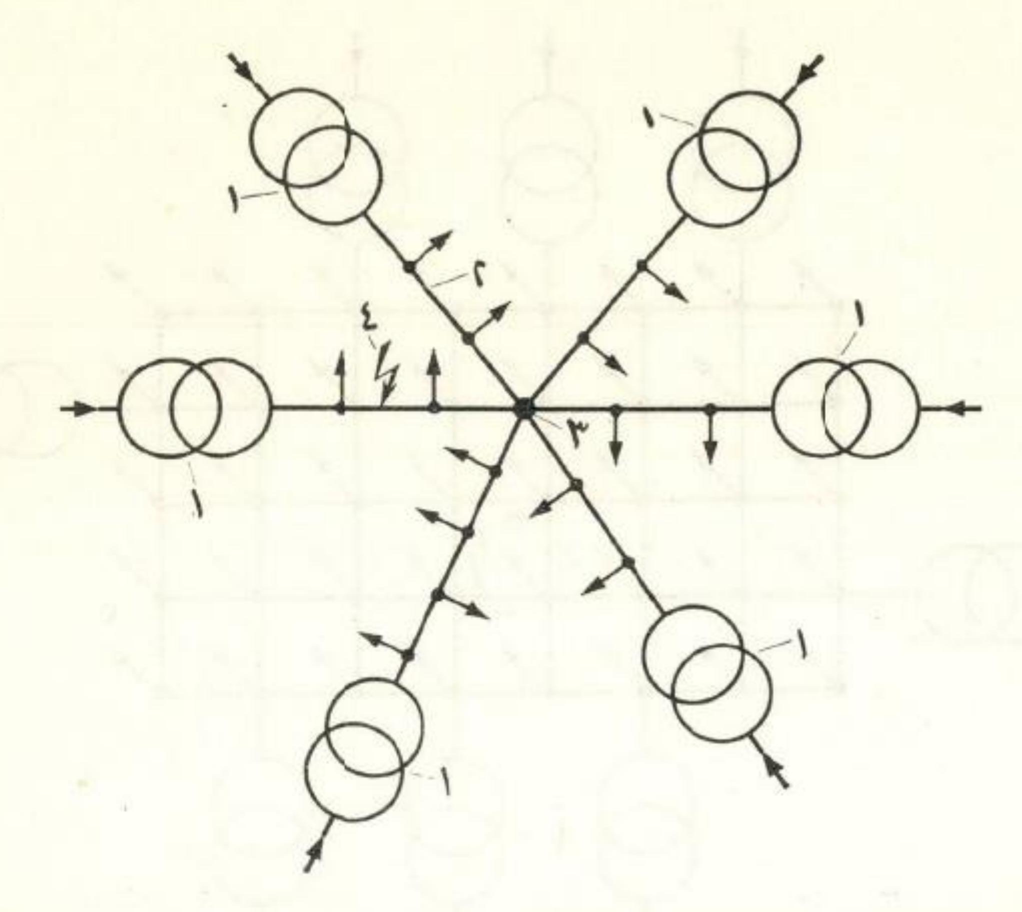
يبين شكل (٧٦) نظام التغذية النجمي ، وهذا النظام يجمع بين مميزات الشبكات الحلقية والإشعاعية . ويستخدم مثل هذا النظام لتغذية الأحمال المتغيرة حيث يسمح بإضافة بعض المحولات إلى الشبكة في حالة زيادة الحمل في منطقة معينة، كما يسمح بفصلها في حالة نقص الحمل . ويعيب هذا النظام زيادة تكاليف إنشائه .



الشكل(٧٤) نظام التغذية الإشعاعي(شبكة إشعاعية)
١ – محول تغذية
٢ – الخطوط
٣ – محطة محولات
٤ – موضع الخطأ



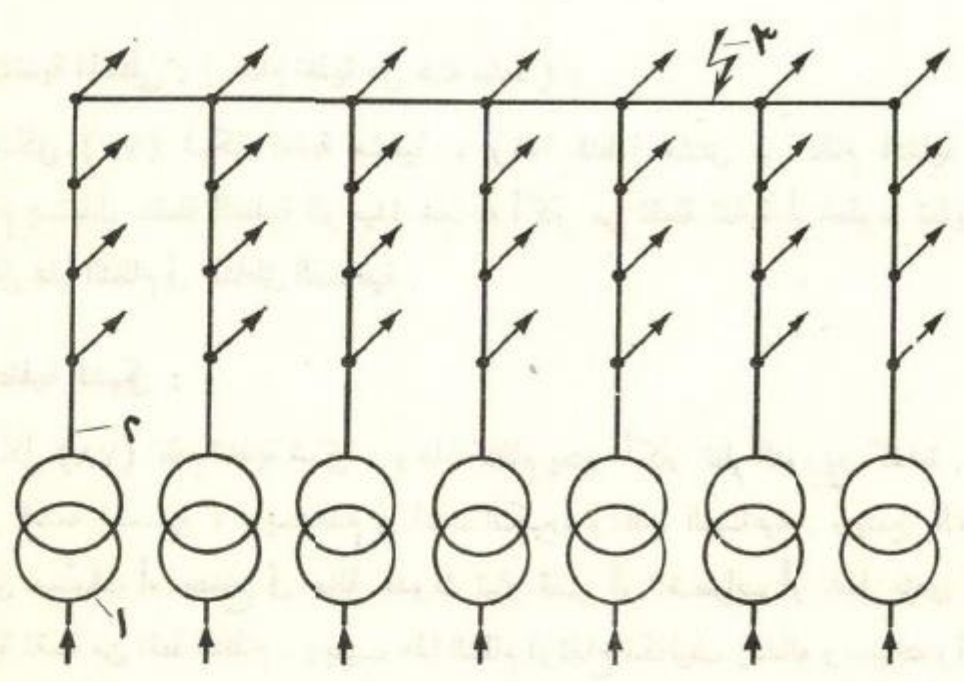
الشكل(٧٥) نظام التغذية الحلقي(شبكة حلقية)
١ – محول تغذية .
٢ – قضبان مجمعة للتغذية
٣ – فرع
٤ – موضع الخطأ



الشكل (٧٦) نظام التوزيع النجمى (شبكة نجمية)

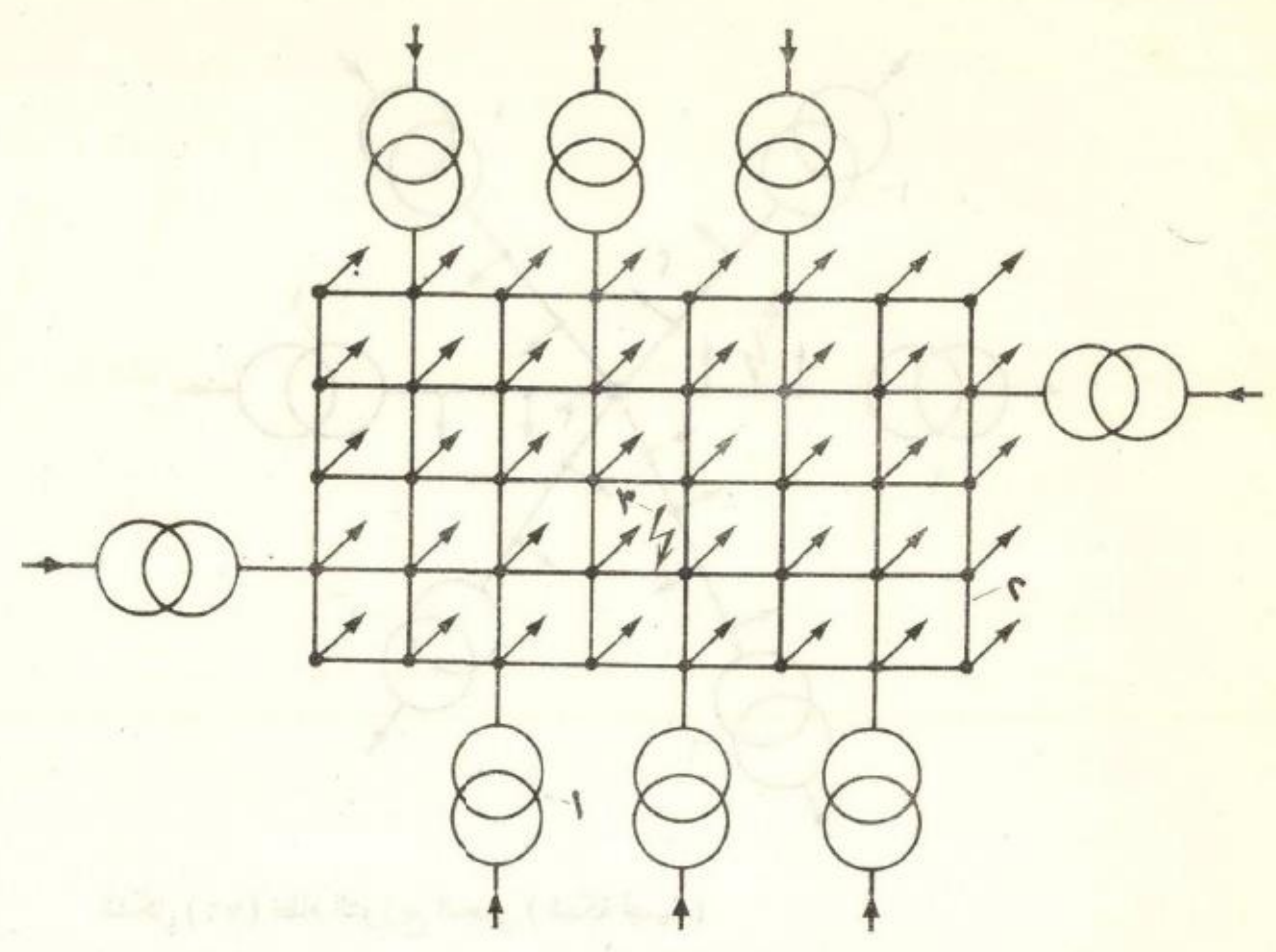
١ – محول تغذية ٢ - خطوط التغذية

٣ – نقطة التعادل ٤ – موضع الخطأ



الشكل (٧٧) نظام التوزيع المشطى (شبكة على هيئة المشط)

١ – محول تغذية ٢ – خطوط التغذية ٣ – موضع الخطأ



الشكل (٧٨) نظام التغذية الشبكى

١ – محول تغذية　　　　٢ – خطوط التغذية الشبكية　　　　٣ – موضع الخطأ

٤ – نظام التغذية المشطى : (نظام تغذية على هيئة مشط) :

يبين شكل (٧٧) شبكة تغذية مشطية ، وهذا النظام مشتق من نظام التغذية النجمى . فى هذا النظام يستبدل بنقطة التغذية الوحيدة خط به أكثر من نقطة تغذية أوخطوط تغذية متقاطعة. ويستخدم مثل هذا النظام فى المناطق الصناعية .

٥ – نظام التغذية الشبكى :

يبين شكل (٧٨) نظام تغذية شبكى ، وهذا النظام يعتبر أكثر نظم التوزيع كفاءة . فهو يعطى الحد الأقصى لخدمة المستمرة ، ويستخدم فى المدن الكبيرة والمدن الصناعية . ويتميز النظام الشبكى بعدم تأثر أى مستهلك أو مصنع فى حالة حدوث تيار قصر أو اضطراب أو خلل يؤدى إلى انقطاع التيار عند أية نقطة من نقط النظام . ويعيب هذا النظام ارتفاع تكاليف إنشائه وصيانته والعناية به ، هذا بالإضافة إلى أن تعقيد هذا النظام يؤدى إلى صعوبة الوصول إلى موضع الخطأ أو الاضطراب أو قصر الدائرة الذى يحدث بالشبكة .

الباب الرابع
وسائل التحكم فى الطاقة الكهربائية

يعرف التحكم بأنه القوة الحاكمة التى تحدد تغير الكميات المؤثرة فى الطاقة الكهربائية لدائرة ما (الجهد والتيار والمقاومة الخاصة بالدائرة) ، كما يتضمن أيضاً إنقاص أو زيادة هذه الكميات الكهربائية ، ووصل أو قطع الدوائر الكهربائية المتصلة بهذه الدائرة .

وتنقسم معدات القطع والوصل ووسائل التحكم إلى قسمين :

أولا : وسائل التحكم فى الجهد العالى .

ثانياً : وسائل التحكم فى الجهد المنخفض .

أولا : وسائل التحكم فى الجهد العالى

(٣٣) وسائل القطع والوصل فى الجهد العالى :

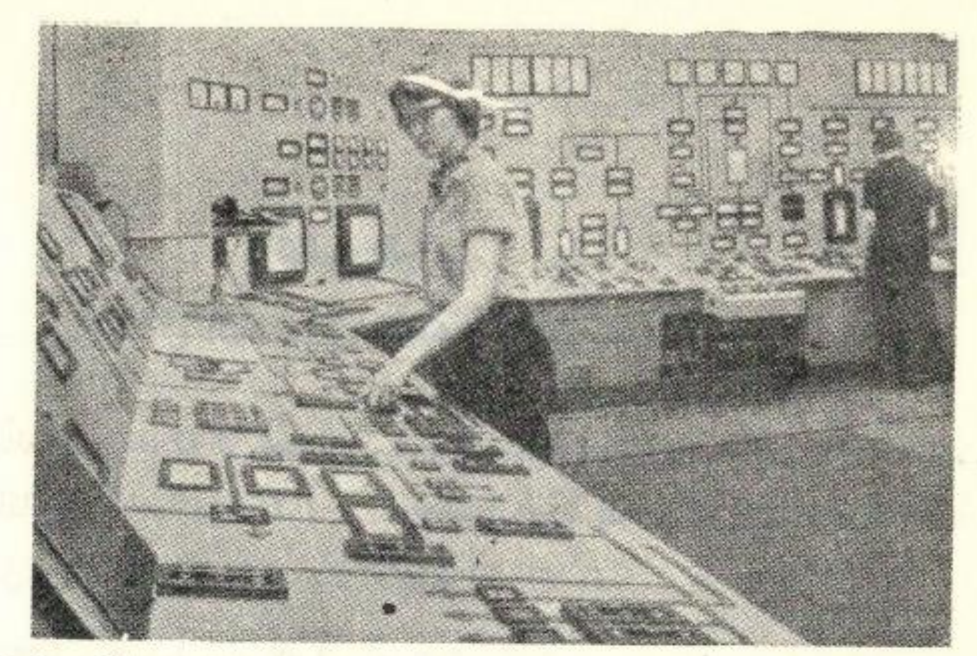
يراعى حالياً فى تصميم محطات توليد القدرة الكهربائية الحديثة فصل محطة المفاتيح وأجهزة التحكم عن معدات القطع والوصل للجهد العالى ، كما هو مبين فى شكل (٧٩) . وتزود محطة المفاتيح عادة بلوحة أو منضدة توضع عليها المفاتيح وأجهزة التحكم وأجهزة القياس ، ويطلق عليها « لوحة التوزيع » أو « منضدة التوزيع » ، ويتم بواسطتها التحكم فى الطاقة الكهربائية للجهد العالى . وتنقسم معدات القطع والوصل عادة إلى :

(ا) معدات قطع ووصل داخل المبانى .

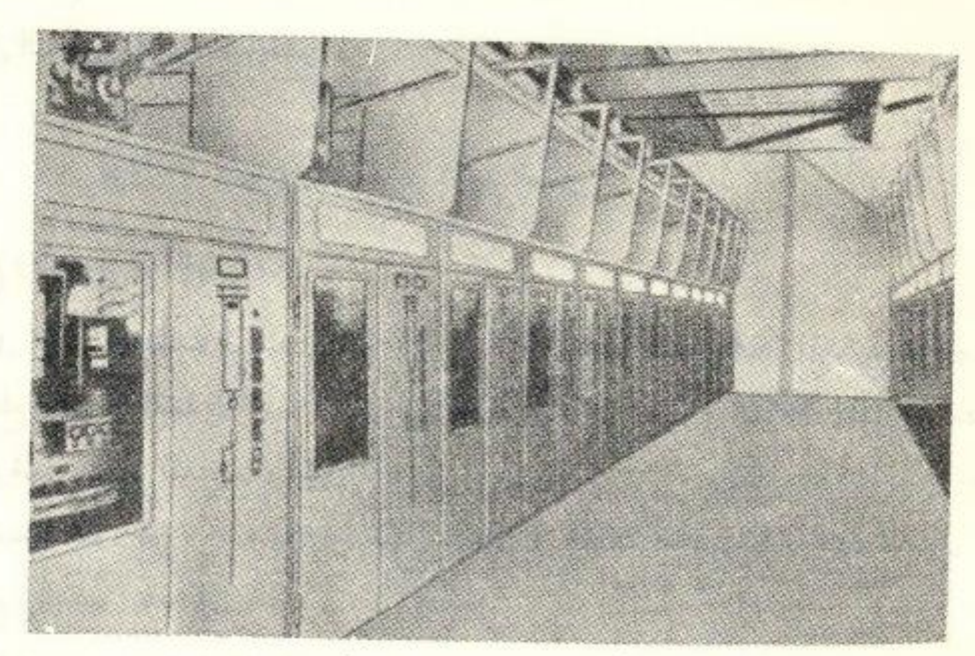
(ب) معدات قطع ووصل خارج المبانى .

(أ) معدات القطع والوصل داخل المبانى :

تركب معدات القطع والوصل الحديثة داخل مبنى واحد أو مبنيين منفصلين ، وتكون هذه المعدات عادة موضوعة داخل صناديق حديدية مغلقة يحتوى كل صندوق منها على وحدة من وحدات القطع والوصل . وقد أصبح من الممكن حالياً استخدام مبنى واحد فقط نظراً لتوفر أجهزة القطع والوصل الصغيرة التى تعمل بدون زيت أو بزيت قليل ، ويبين الشكلان (٨٠ ، ٨١) هذه المعدات داخل المبانى .



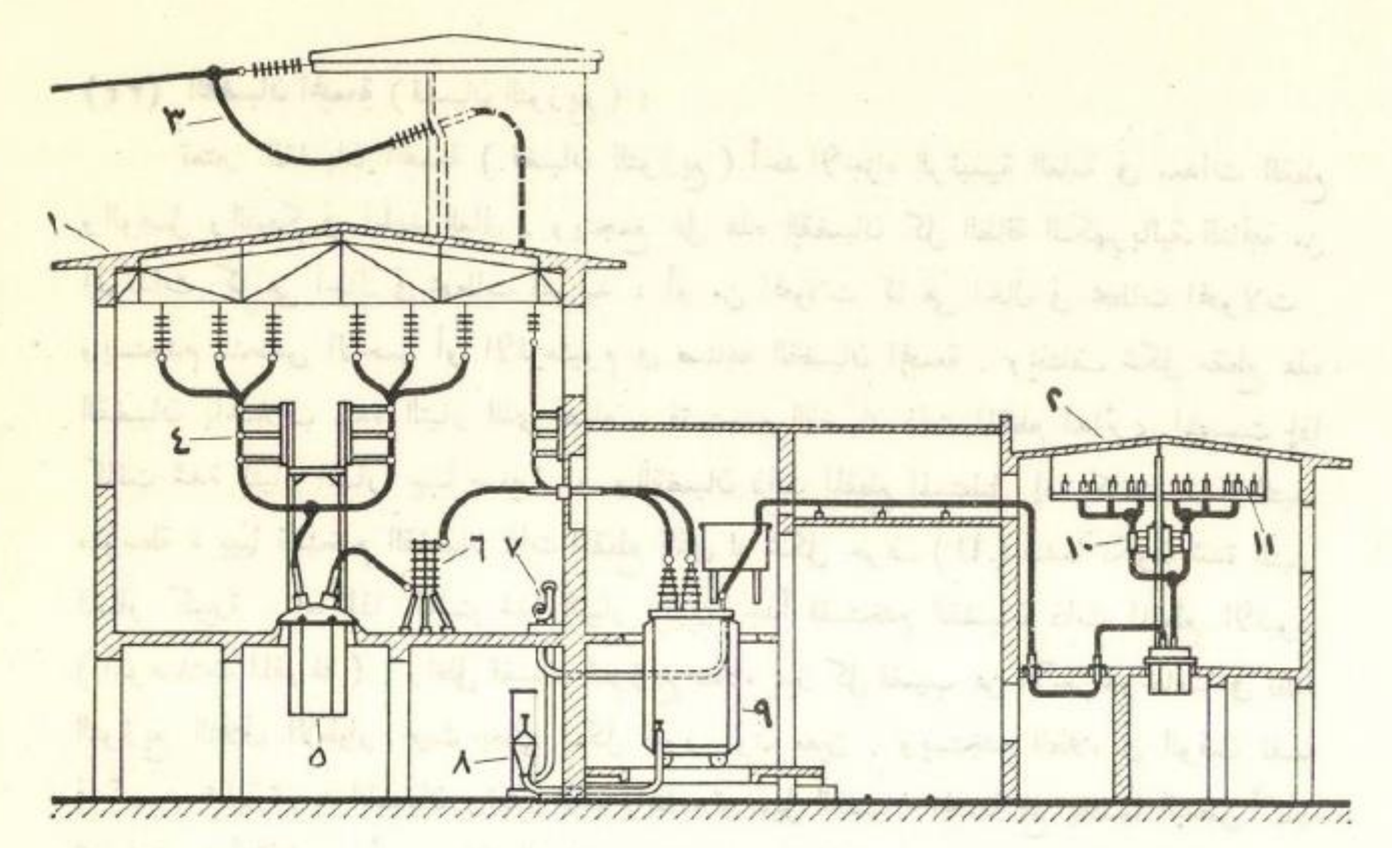
الشكل (٧٩) منظر عام لمحطة المفاتيح الملحقة بمحطة توليد القدرة الكهربائية



الشكل (٨٠) منظر عام لمحطة مفاتيح داخل المبانى .

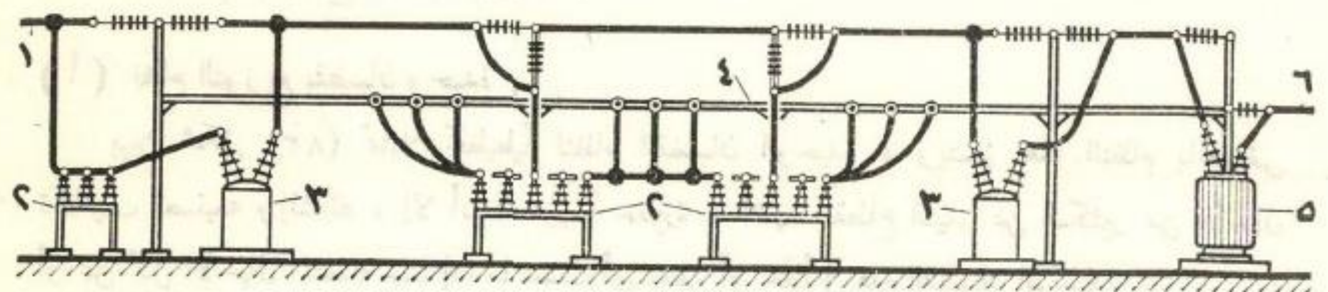
(ب) معدات القطع والوصل خارج المبانى :

يفضل عادة فى نظم توزيع الجهد العالى وضع الخطوط الهوائية وترتيبها بحيث يكون بين بعضها البعض مسافة كبيرة كلما أمكن ذلك لتجنب حدوث وميض عابر بين الخطوط . لذلك تحتاج أجهزة القطع والوصل فى الجهد العالى إلى مساحات شاسعة حتى يمكن تركيبها فى أماكن مناسبة . ومن الأفضل اقتصادياً وضع هذه المعدات فى أماكن مكشوفة فى العراء دون مبان ، ويفضل فى الجهود العالية جداً ترتيب جميع المعدات والأجهزة وتركيبها فى وضع أفقى . ويبين الشكل (٨٢) رسماً تخطيطياً لوضع هذه المعدات أفقياً فى الأماكن المكشوفة .



الشكل (٨١) رسم تخطيطى لمحطة مفاتيح داخل المبانى خاصة بمحطة محولات

١ – مفاتيح الجهد العالى ١٠٠ ك.ف
٢ – مفاتيح الجهد المتوسط ٥ ك.ف
٣ – نقطة التغذية
٤ – مفتاح فاصل
٥ – مفتاح قدرة (مفتاح زيتى)
٧ – مضخة دفع زيت التبريد
٨ – وحدة التبريد
٩ – محول
١٠ – مفتاح فاصل
١١ – صندوق توصيل



الشكل (٨٢) رسم تخطيطى لمحطة مفاتيح توزيع خارج المبانى

١ – نقطة التغذية
٢ – مفتاح فاصل
٣ – مفتاح قدرة
٤ – قضبان التوزيع
٥ – محول
٦ – نهاية خروج

(٣٤) القضبان المجمعة (تضبان التوزيع) :

تعتبر القضبان المجمعة (قضبان التوزيع) أحد الأجزاء الرئيسية العامة فى معدات القطع والوصل والتحكم فى الجهد العالى . ويتجمع على هذه القضبان كل الطاقة الكهربائية الناتجة من المولدات كما هى الحال فى محطات التوليد ، أو من المحولات كما هى الحال فى محطات المحولات . ويستخدم النحاس الأحمر أو الألومنيوم فى صناعة القضبان المجمعة . ويختلف شكل مقطع هذه القضبان باختلاف شدة التيار الذى تحمله ، فتستخدم القضبان ذات المقطع الدائرى المصمت إذا كانت شدة التيار المار بها صغيرة ، والقضبان ذات المقطع المستطيل إذا كانت شدة التيار متوسطة ، بينما تستخدم القضبان ذات المقطع الذى له شكل حرف (U) عندما تكون شدة التيار المار كبيرة . أما إذا كانت شدة التيار كبيرة جداً فتستخدم القضبان ذات المقطع الأنبوبى (الموصلات المفرغة) . وتطلى قضبان التوزيع بطلاء يميز كل قضيب عن الآخر ،وخاصة فى نظام التوزيع الثلاثى الأطوار حيث يعطى لكل طور لون معين . ويستخدم الطلاء فى الوقت نفسه فى تحسين عملية تبريد القضبان.وتعتبر نقط ربط وتوصيل القضبان المجمعة مع بعضها البعض أكثر النقط تعرضاً لخطر ، أو حدوث الشرارة وارتفاع درجة الحرارة . . . إلخ . لذلك تستخدم عادة مسامير مقلوظة وصواميل لربط القضبان بعضها ببعض . وتطلى رؤوس هذه المسامير بطلاء حرارى ،أى بطلاء يتغير لونه إذا ارتفعت درجة حرارة المسمار ووصلت إلى درجة معينة، ويعتبر هذا دليلا على أن نقطة الاتصال هذه لم تعد فى حالة سليمة ويلزم الكشف عليها لإزالة الخطأ الحادث.

وتنقسم نظم التوزيع المجمعة إلى :

(ا) نظام توزيع بقضبان وحيدة .

(ب) نظام توزيع بقبضان مزدوجة .

(أ) نظام التوزيع بقضبان وحيدة :

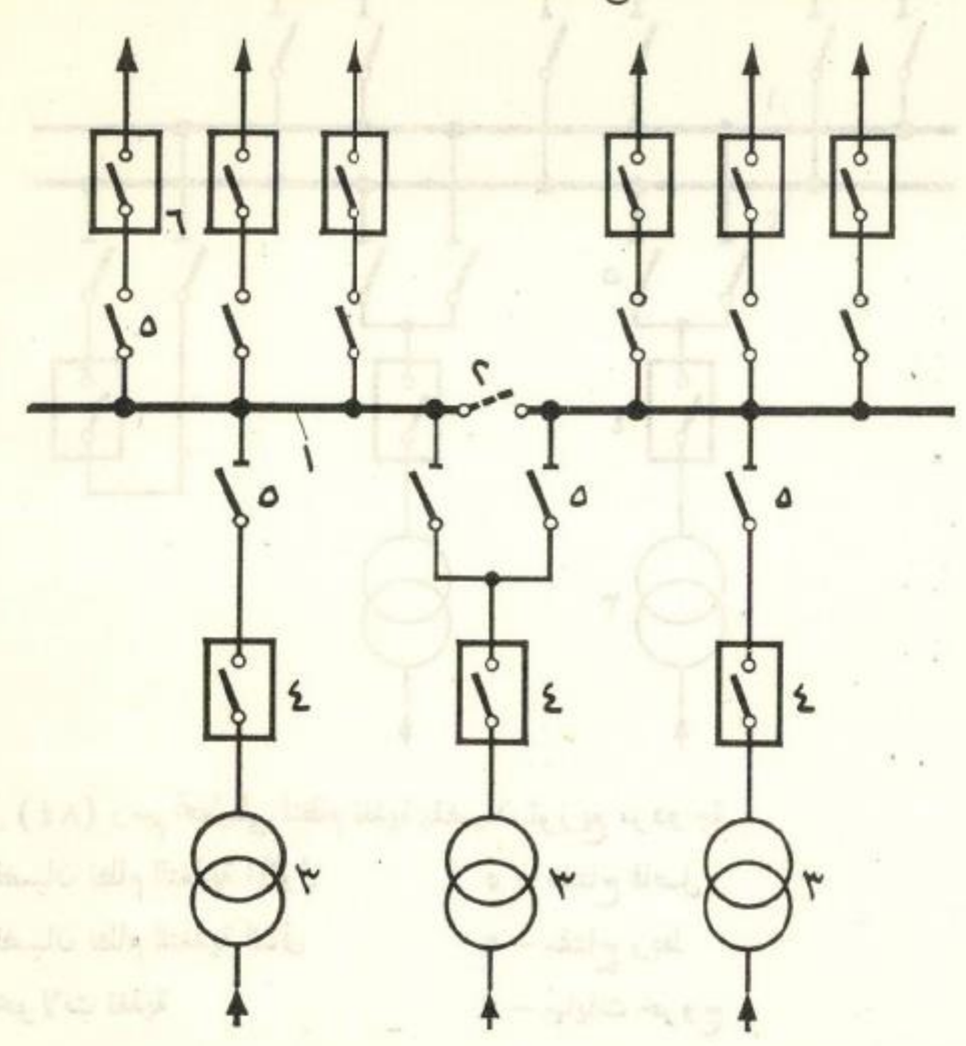
يبين شكل (٨٣) تمثيلا تخطيطياً لنظام القضبان الوحيدة ، ويتميز هذا النظام بانخفاض تكاليف تصنيعه وإنشائه ، إلا أن له عيوباً خطيرة ، أهمها انقطاع التيار عن الكثير من الأحمال أو عن كل الأحمال المتصلة بها إذا ما حدث أى خطر أو خطأ فى هذه القضبان الوحيدة .

كما أن العناية بهذه القضبان وصيانتها لا تتم إلا فى الأوقات التى تكون فيها الأحمال أقل ما يمكن . وفى هذه الحالة تفصل الأحمال المتصلة بهذه القضبان ، ويزود المستهلكون بالطاقة الكهربائية اللازمة لهم أثناء عملية الصيانة بواسطة محطة توليد صغيرة .

(ب) نظام التوزيع بقضبان مزدوجة :

يبين شكل (٨٤) تمثيلا تخطيطياً لنظام القضبان المزدوجة ، وتكاليف إنشاء وتركيب هذا النظام أكبر بكثير من تكاليف إنشاء وتركيب النظام السابق (نظام القضبان الوحيدة) . ويتميز

هذا النظام بالأمان واستمرار الخدمة وكفاءة الأداء . كما أن عمليات صيانته والعناية به تتم بدقة كافية وفى أى وقت دون حاجة إلى اختيار وقت معين للقيام بها ، نظراً لوجود قضبان احتياطية يتم عن طريقها تزويد المستهلكين بالطاقة اللازمة . ويمكن فى هذا النظام وصل القضيبين ليعملا على التوازى ، أو فصلهما بواسطة مفاتيح قدرة مصممة لهذا الغرض .



الشكل (٨٣) رسم تخطيطى لنظام تغذية بقضبان توزيع وحيدة

١ – قضبان التوزيع   **٤ – مفتاح قدرة**

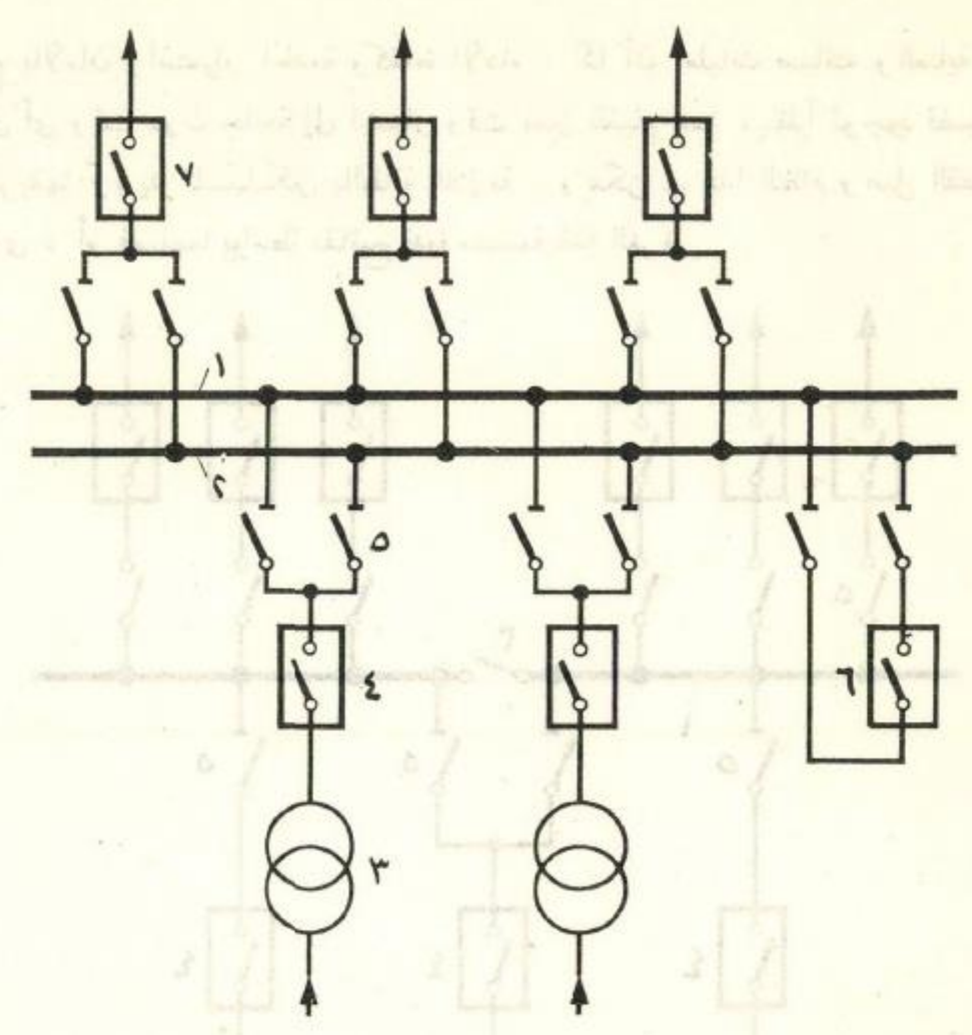
٢ – معدات قطع ووصل للتغذية فى الاتجاه الطويل   **٥ – مفتاح فاصل**

٣ – محولات تغذية   **٦ – نهاية خروج**

ويبين شكل (٨٥) رسماً تخطيطياً للتركيبات الخاصة بأجهزة القطع والوصل المستخدمة فى نظام القضبان المزدوجة لجهد عال .

(٣٥) مفاتيح الجهد العالى :

توجد عدة أنواع من المفاتيح المستخدمة فى قطع أو وصل التيار فى الجهد العالى . وفيما يلى وصف لأهم أنواع هذه المفاتيح .



الشكل (٨٤) رسم تخطيطى لنظام تغذية بقضبان توزيع مزدوجة

١ – قضبان نظام التغذية الأول
٢ – قضبان نظام التغذية الثانى
٣ – محولات تغذية
٥ – مفتاح فاصل
٦ – مفتاح ربط
٧ – نهايات خروج

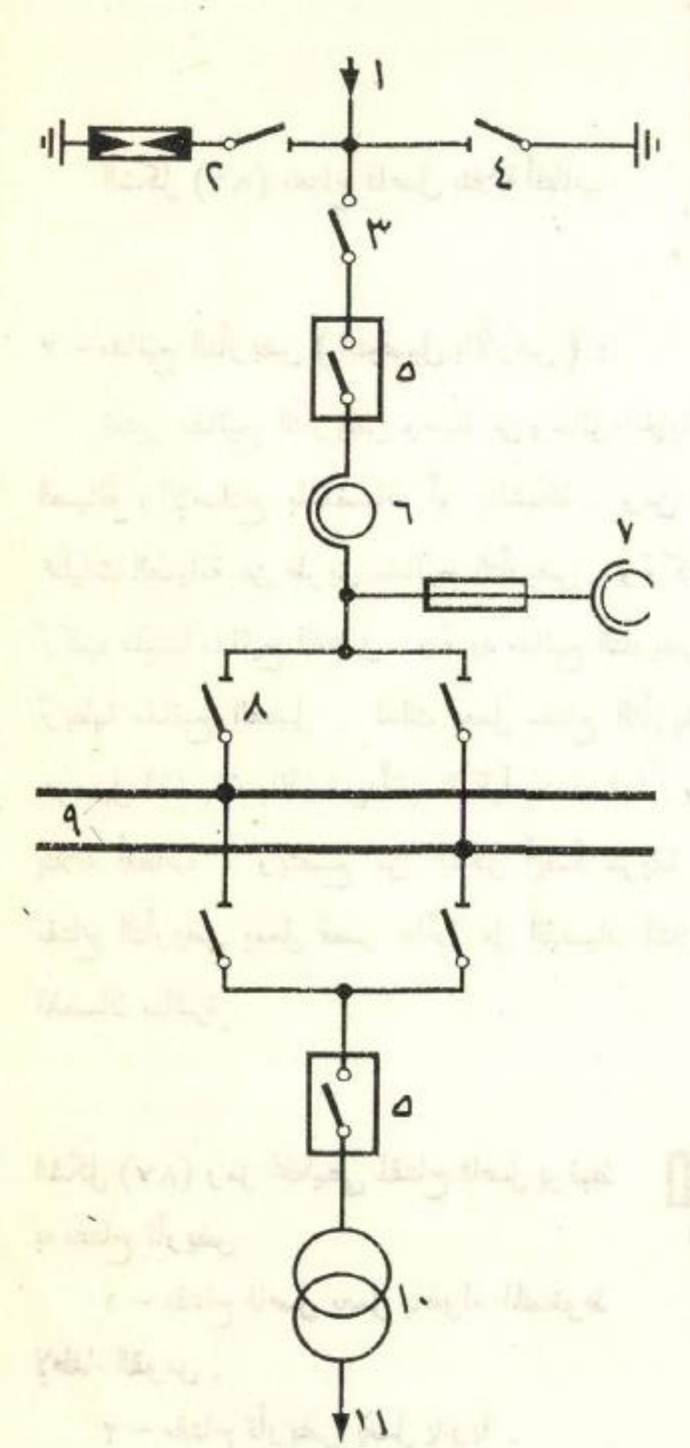
١ – خوص الفصل :

هى أجزاء موصلة يمكن نزعها أو سحبها من القضبان لقطع التيار . ولا يمكن رفع هذه الأجزاء أو تركيبها فى مكانها إلا إذا كانت القضبان غير مكهربة ، أى إذا كانت جميع المعدات والأحمال مفصولة عن القضبان . وتستخدم خوص الفصل فقط فى الحالات التى لا تسمح فيها التركيبات من حيث المساحة أو الفراغ باستخدام مفاتيح القدرة التى سيأتى شرحها فيما بعد .

٢ – مفاتيح الفصل أو سكاكين العزل :

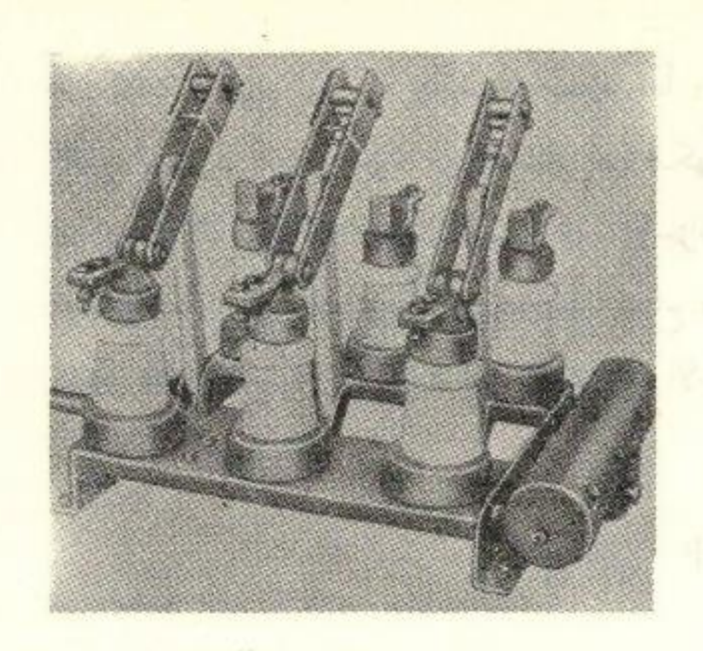
تصمم مفاتيح الفصل فى الجهد العالى لتركب على القضبان داخل الإنشاءات ، وهى لا تختلف كثيراً عن خوص الفصل . ويجب ألا تعمل هذه المفاتيح إلا إذا كانت جميع الأحمال مفصولة

أو كانت الأحمال الموصلة بالقضبان صغيرة جداً . وتستخدم مفاتيح الفصل (سكاكين العزل) لقطع أو عزل أجزاء معينة من القضبان عن الكهرباء لتضمن عدم وجود أى احتمال للخطر من الكهرباء أثناء إجراء عمليات الصيانة بهذه الأجزاء . ويبين شكل (٨٦) مفتاحاً للفصل بثلاثة أقطاب يعمل بالهواء المضغوط . ويعمل هذا المفتاح على محول بتيار مقنن ١٠٠٠ أمبير ، (ولا يتم تشغيل هذا المفتاح إلا إذا كانت الدائرة مفتوحة والأحمال مفصولة) .



الشكل (٨٥) تمثيل تخطيطى يبين الترتيب الأساسى لمعدات القطع والوصل المستخدمة فى الجهد العالى :

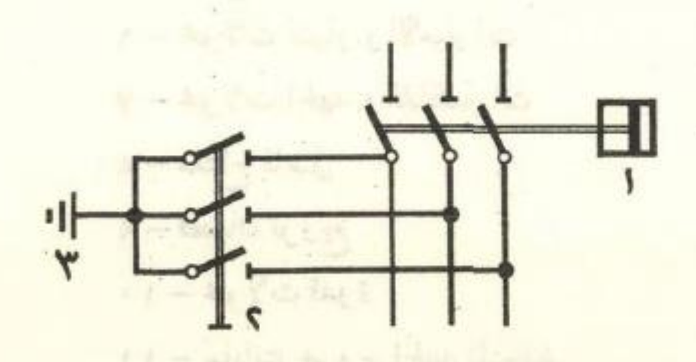
١ – دخول الجهد العالى
٢ – مانع الصواعق والتمور
٣ – مفتاح فاصل
٤ – مفتاح تأريض
٥ – مفتاح قدرة
٦ – محولات التيار والأميترات
٧ – محولات الجهد والفلطمترات
٨ – مفتاح فاصل
٩ – قضبان توزيع
١٠ – محولات قدرة
١١ – نهايات خروج الجهد المنخفض



الشكل (٨٦) مفتاح فاصل بثلاثة أقطاب

٣ – مفاتيح التأريض (التوصيل بالأرض) :

تعتبر مفاتيح التأريض وسيلة من وسائل الحماية والأمان التى يجب توافرها أثناء إجراء عمليات الصيانة والإصلاح بالقضبان أو بالشبكة . ومن المفضل دائماً توصيل القضبان بالأرض أثناء عمليات الصيانة عن طريق مفاتيح التأريض . وتركب مفاتيح التأريض عادة على نفس القاعدة التى تركب عليها مفاتيح الفصل . وتزود مفاتيح التأريض بمرتاج (ترباس) أو بوسيلة ربط ميكانيكية تربطها مفاتيح الفصل . لذلك يعمل مفتاح التأريض على التوالى مع مفتاح الفصل ، أى يقوم بتوصيل القضبان بالأرض أتوماتيكياً بعد فصلها . ويبين شكل (٨٧) رسماً تخطيطياً لمفتاح تأريض بثلاثة أقطاب ، ويتضح من الشكل أيضاً طريقة ربطه بمفتاح الفصل وطريقة عمله . ويقوم مفتاح التأريض بعمل قصر دائرة على القضبان الثلاثة وتوصيلها بالأرض أوتوماتيكياً بعد فصل القضبان مباشرة .

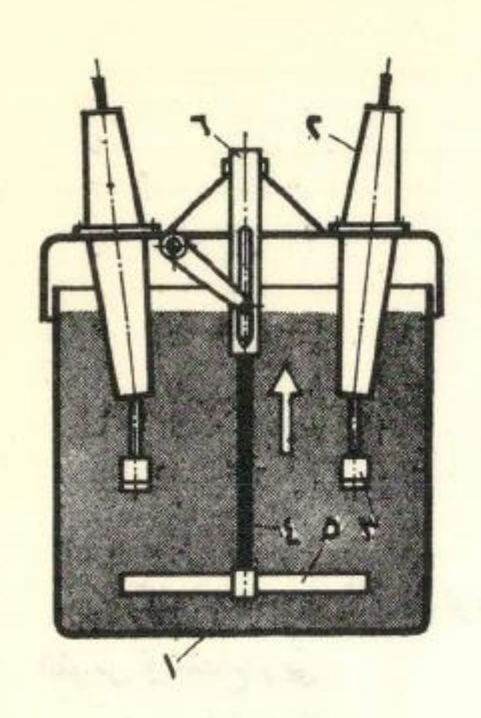


الشكل (٨٧) رمز تخطيطى لمفتاح فاصل يرتبط به مفتاح تأريض

١ – مفتاح فاصل يعمل بالهواء المضغوط لإطفاء القوس .

٢ – مفتاح تأريض يعمل يدويا .

٣ – توصيلة بالأرض (لربط المفتاح بأرض رطبة)



شكل (٨٨) رسم تخطيطى لمفتاح زيتى
١ – خزان الزيت .
٢ – جلب عازلة
٣ – قطع التلامس .
٤ – قضيب معزول .
٥ – شريحة التلامس (لتوصيل قطع التلامس وفصلها).
٦ – المقبض المستخدم فى عملية القطع و الوصل .

٤ – مفاتيح القدرة (معدات القطع والوصل) :

تعتبر مفاتيح القدرة أو معدات القطع والوصل أهم أجهزة التحكم فى الجهد العالى . ويراعى عند تصميم مفاتيح القدرة المستخدمة فى الجهد العالى أن تكون لها قدرة كبيرة على ما يلى :

(ا) قطع ووصل أى تيار تشغيل مهما كانت شدته بمنتهى السرعة والأمان .

(ب) قطع أى تيار قصر دائرة يحدث بطريقة فجائية فى الدائرة .

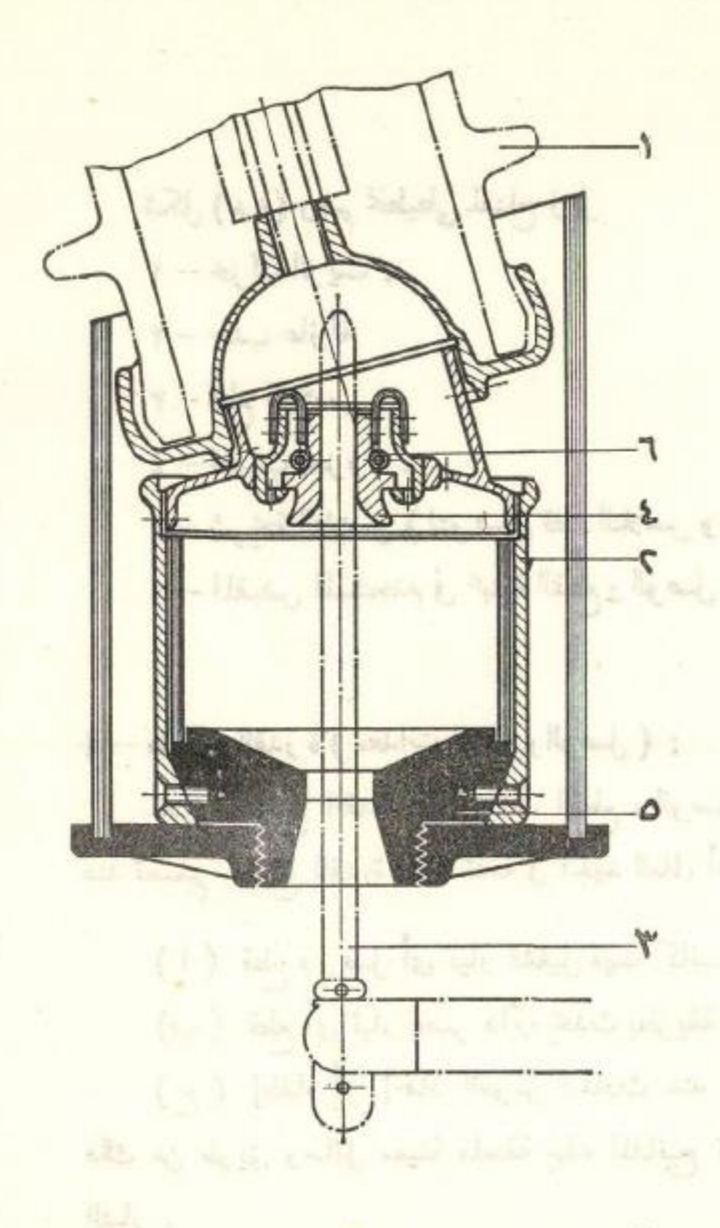
(ج) إطفاء أو إخماد القوس الحادث عند انفصال الملامسات، أى عند قطع التيار ، ويتم ذلك عن طريق وسائل معينة ملحقة بهذه المفاتيح تقوم بإخماد أو إطفاء القوس المتكون عند قطع التيار .

وتقسم مفاتيح القدرة بالنسبة للوسط المستخدم لإطفاء القوس إلى :

١ – مفاتيح قدرة بالزيت .
٢ – مفاتيح قدرة باندفاع الغاز .
٣ – مفاتيح قدرة بتمدد الغاز أو السائل .

ويبين شكل (٨٨) رسماً تخطيطياً لأحد مفاتيح القدرة التى تعمل بالزيت ، وبالرغم من أن هذا التصميم قديم إلا أنه ملائم لتوضيح الكيفية التى يعمل على أساسها مثل هذا النوع من المفاتيح . ويبين شكل (٨٩) رسماً تخطيطياً لمفتاح زيتى حديث بوعاء إطفاء ، ويتميز هذا المفتاح من الناحية العملية بعدم احتمال حدوث انفجار به .

يبين شكل (٩٠) تمثيلا تخطيطياً لحجرة التمدد فى إحدى معدات القطع والوصل بتمدد الغاز أو السائل . وفيها يستخدم الماء كوسيلة من وسائل إطفاء القوس . وهذه المفاتيح تتميز أيضاً بقلة احتمال حدوث أى انفجار بها .



شكل (٨٩) رسم تخطيطى لوعاء إخماد القوس فى مفتاح زيتى

١ — جلبة عازلة

٢ — اسطوانة الانفجار المعدنية .

٣ — بنز التلامس (لتوصيل قطع التلامس) وفصلها .

٤ — قطع التلامس القابلة للانضغاط

٥ — غطاء وعاء إخماد القوس

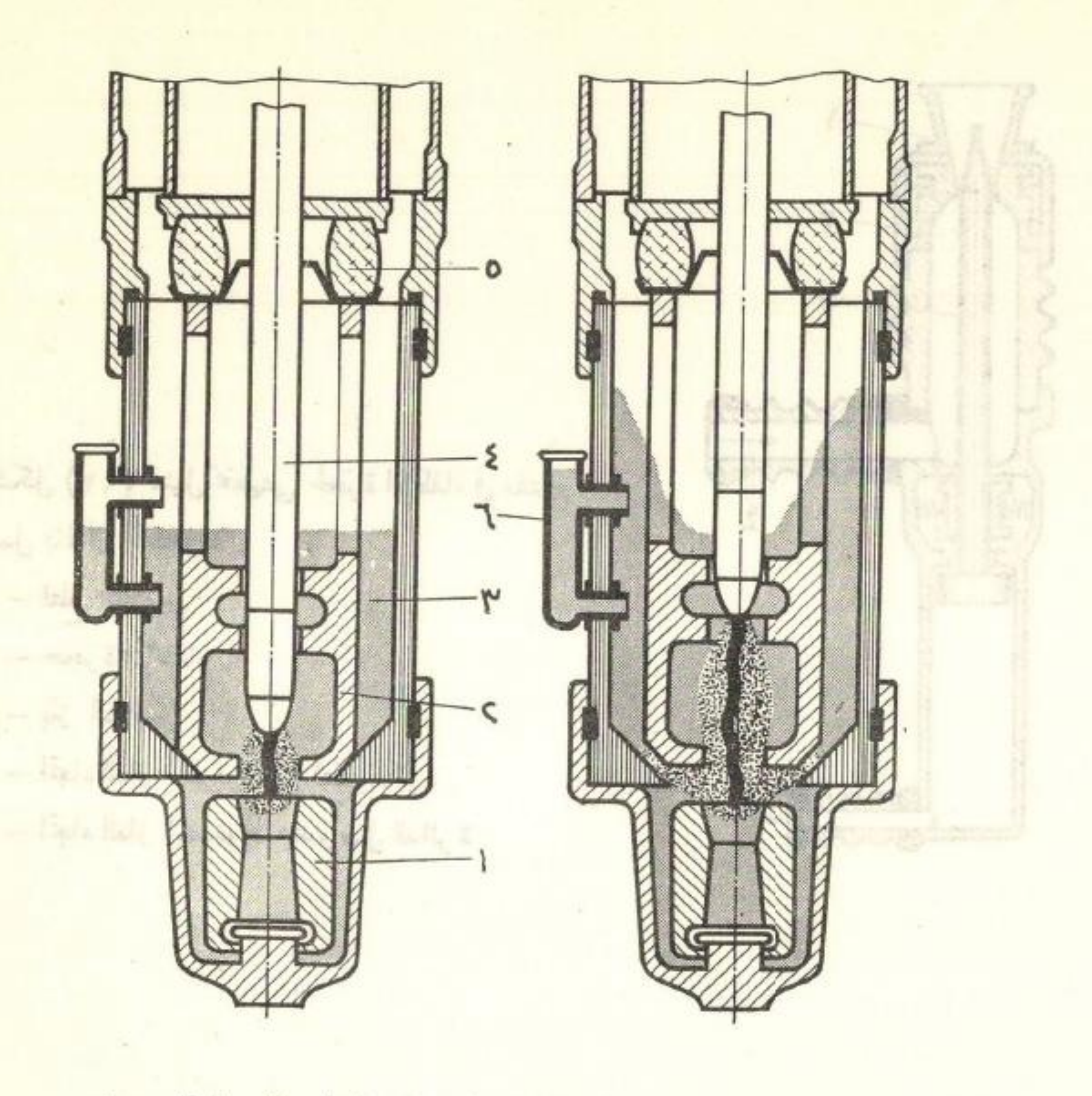
٦ — خزان الزيت .

ويبين شكل (٩١) تمثيلا تخطيطياً لحجرة إطفاء فى أحد مفاتيح القدرة باندفاع الغاز التى يستخدم فيها الهواء المضغوط كوسيلة من وسائل إطفاء الشرارة أو القوس ، وفى مثل هذه الأنواع تقوم المفاتيح تلقائياً بإطلاق الهواء المضغوط لإطفاء القوس .

وتبين الأشكال من (٩٢) إلى (٩٤) عدة تصميمات مختلفة لأنواع مفاتيح القدرة التى سبق شرحها .

(٣٦) مصاهر الجهد العالى :

تعرف مصاهر بأنها وسائل لحماية التركيبات ، والأدوات ، والمعدات الكهربائية أو أى عنصر من عناصر الدائرة الكهربائية ، من التيارات الزائدة أو تيارات قصر الدائرة . وتستخدم مصاهر الجهد العالى (أو مصاهر القدرة العالية) أساساً كوسيلة من وسائل حماية التركيبات والمعدات الكهربائية من تيار قصر الدائرة . وتستخدم المصاهر خاصة فى الجهد العالى كبديل لمفاتيح القدرة إذا كان الحيز الذى توجد به التركيبات ضيقاً بحيث لا يسمح بتركيب معدات القطع والوصل التى سبق ذكرها .



الشكل (٩٠) رسم تخطيطى يبين وعاء الإخماد فى معدات القطع والوصل التمددية .

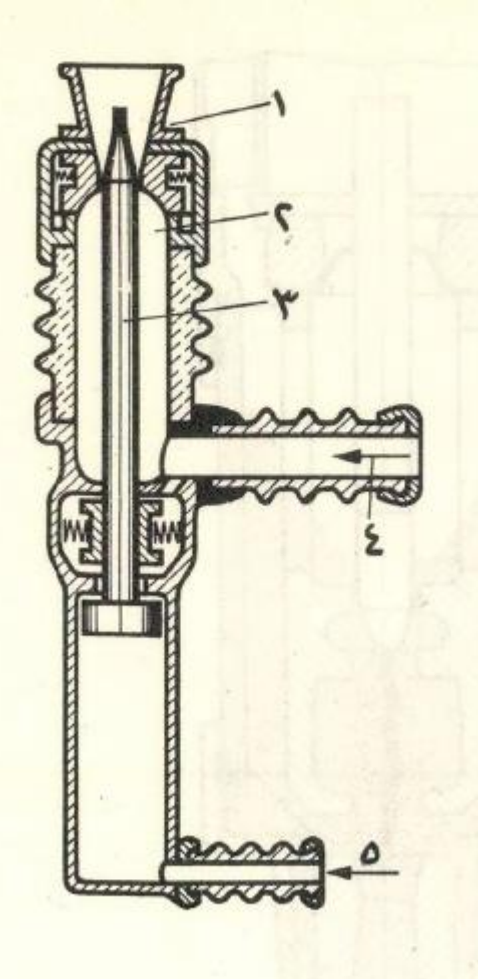
١ – حجرة التلامس
٢ – وعاء إخماد القوس
٣ – حجرة التكثيف
٤ – بنز التلامس
٥ – حلقة قابلة للانضغاط
٦ – مبين مستوى السائل

وهناك نوعان من المصاهر المستخدمة فى الجهد العالى هما :

(ا) مصاهر لها طاقة بيان منخفضة .

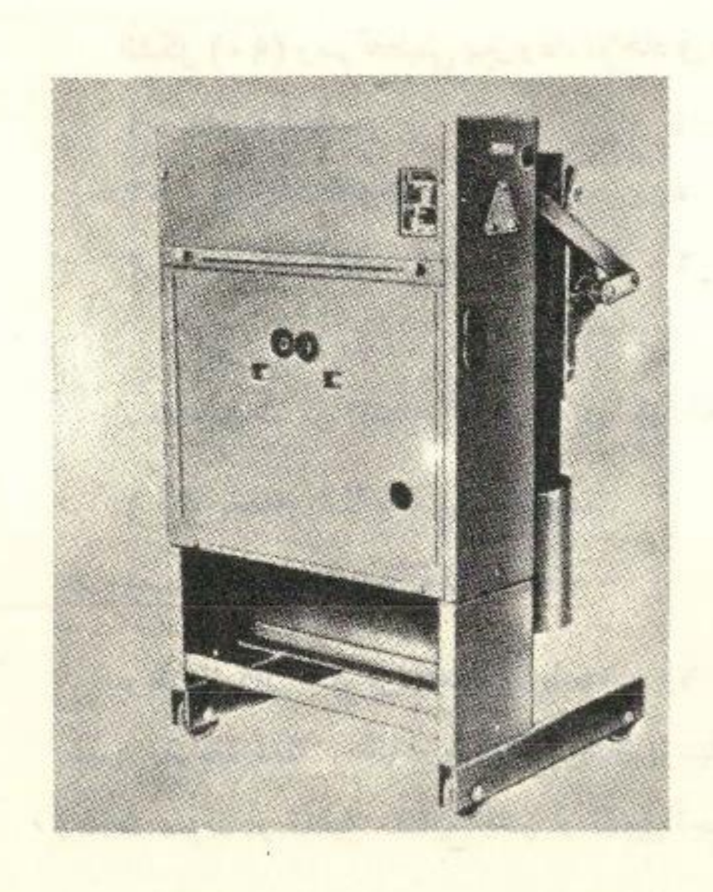
(ب) مصاهر لها طاقة بيان عالية .

وطريقة عمل كل من المصهرين واحدة ، إلا أن المصهر الأول مزود بوسيلة لبيان انصهار عنصره بطريقة سهلة ، بينما يزود المصهر الثانى بوسيلة لبيان نصهار العنصر بطريقة قوية ، مثل إحداث صوت أو تشغيل مصابيح إشارة أو تشغيل أجهزة إنذار بمجرد انصهار العنصر .

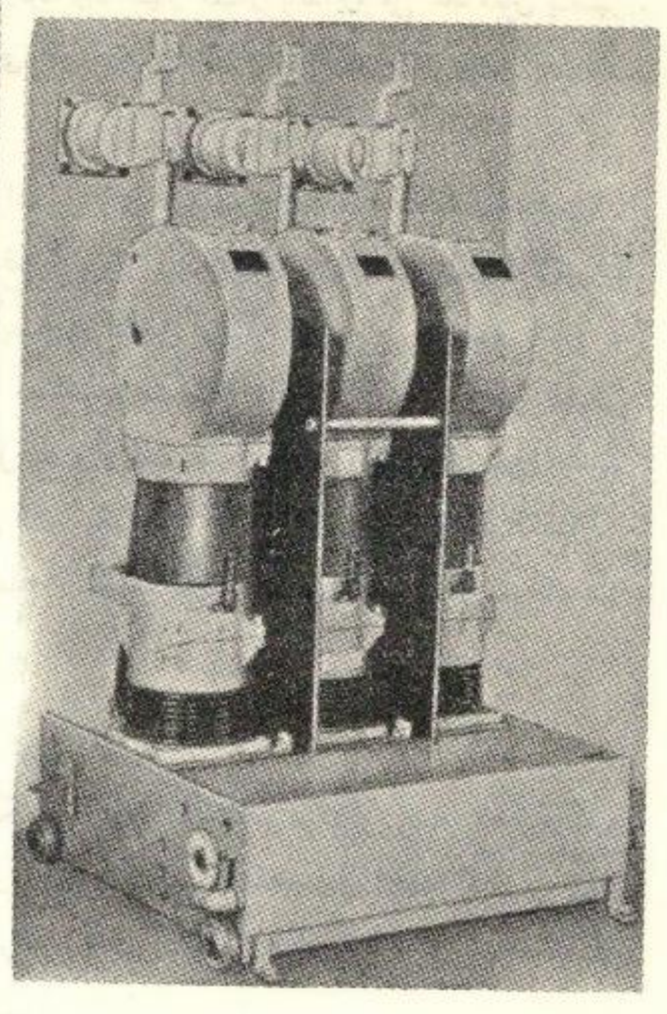


الشكل (٩١) تمثيل تخطيطى لحجرة الإطفاء فى مفتاح قدرة يعمل بالغاز المضغوط .

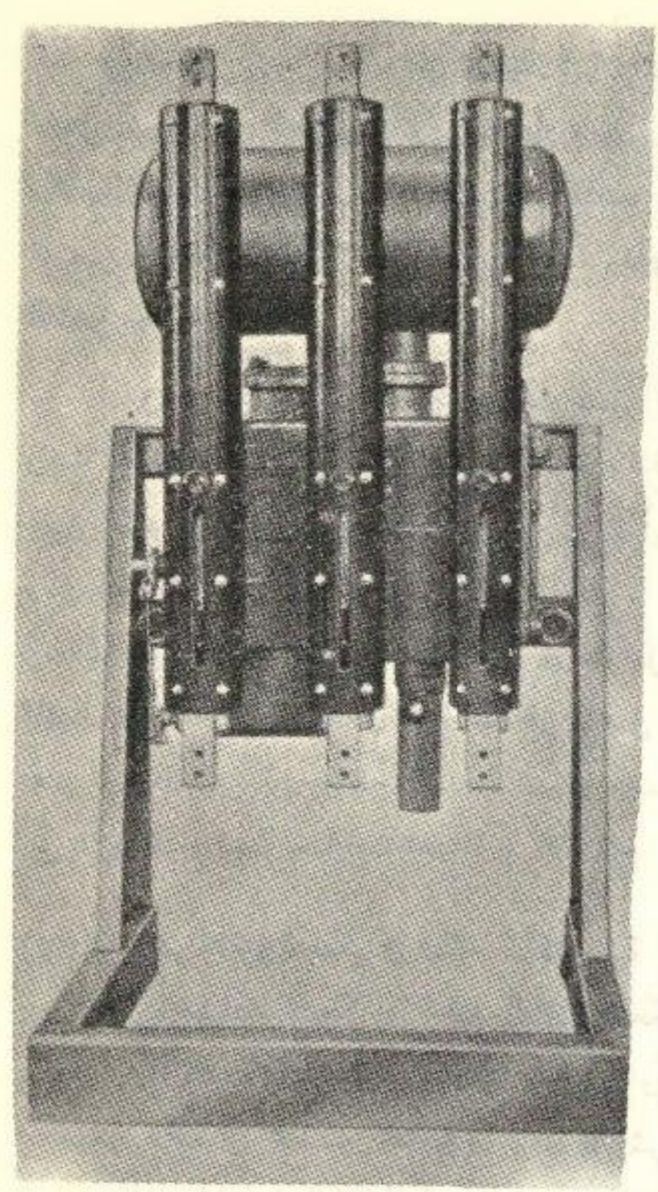
١ – قطع التلامس
٢ – حجرة الإطفاء
٣ – بنز التلامس
٤ – اتجاه الغاز المضغوط عند قطع الدائرة
٥ – اتجاه الغاز المضغوط عند وصل الدائرة



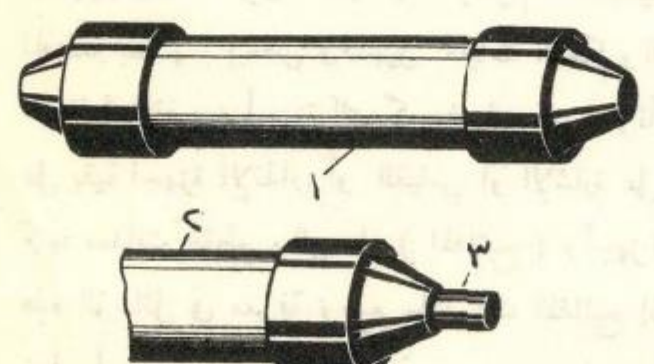
الشكل (٩٢) قاطع دائرة (مفتاح) بملامسات فى الزيت



الشكل (٩٣) قاطع دائرة (مفتاح قدرة) (به معدات تعمل على تمدد القوس لتسهيل إطفائه)



الشكل (٩٤) قاطع دائرة (مفتاح قدرة) يعمل بالغاز المضغوط



الشكل (٩٥) مصهر جهد عال ذو سعة قطع كبيرة ، ومزود بوسيلة لبيان الوضع لها طاقة تشغيل عالية .

١ – المصهر – قبل انصهار العنصر
٢ – المصهر – بعد انصهار العنصر
٣ – مسمار يبرز بقوة بمجرد انصهار العنصر

ويتلخص التصميم الأساسى لوسيلة البيان المستخدمة فى المصهر الأول فى وضع عنصر المصهر داخل أنبوب من الصينى ، ويوجد على واجهتى الأنبوب غطاءان معدنيان . ويثبت الغطاءان فى مكانهما بواسطة سلك زنبركى ملحوم بعنصر المصهر. فإذا زاد التيار المار بالدائرة على حد معين ينصهر العنصر وينطلق السلك الزنبركى ويدفع أمامه إحدى اللوحتين فتسقط ، وبذلك يمكن بيان انصهار العنصر بطريقة سهلة .

أما فى النوع الثانى من المصاهر فيوضع عنصر المصهر ، فى أنبوب محكم تماماً ويملأ بمادة متفجرة . وعند انصهار العنصر تنفجر هذه المادة وتدفع أمامها إبرة تخرج من أحد جوانب الأنبوب لتبين انصهار العنصر . وتستخدم هذه الإبرة أيضاً فى تشغيل وسيلة إنذار أو مصابيح إشارة ، ومن هنا أطلق على هذا النوع من المصاهر اسم « مصاهر ذات طاقة بيان عالية » ، انظر الشكل (٩٥) . وتثبت ممصاهر الجهد العالى فى حوامل ، وتركب هذه الحوامل على إطار من الحديد المثبت على قوائم عازلة ، وتقوم المصاهر بالعمل الذى يقوم به مفتاح القطع أو خوصة الفصل . فعند نزع المصهر من حامله ، أو عند انصهار وصلته ، تقطع الكهرباء عن القضبان أو التركيبات التى يلزم القيام فيها بعمليات الصيانة أو الإصلاح .

(٣٧) الإشراف والتحكم فى الطاقة الكهربائية بجهد عال :

تتأثر عمليات التحكم فى الجهد العالى بالتحكم فى الجهد المنخفض وتؤثر فيه ، وتركب جميع أجهزة التحكم والإشارة والإنذار والقياس وأجهزة التسجيل المستخدمة فى الجهد العالى والجهد المنخفض عادة فى محطات المفاتيح . وفيما يلى شرح لبعض المفاتيح وأجهزة البيان المستخدمة فى التحكم والإشراف على الطاقة الكهربائية بجهد عال .

١ - محطات المفاتيح :

تزود محطات المفاتيح بلوحات أو مناضد يركب بها جميع أجهزة القياس والتحكم والإشارة والإنذار ، كما يركب بها المفاتيح التى تقوم بتشغيل كل هذه الأجهزة والمعدات بطريقة مبسطة وواضحة . وتزود هذه اللوحات برسوم تخطيطية مبسطة تبين صلة كل دائرة كهربائية بالدوائر الكهربائية الأخرى . وتفيد الرسوم التخطيطية فى معرفة كيفية توصيل الدوائر الكهربائية المختلفة بعضها ببعض وتسهيل عمليات التحكم والصيانة والإصلاح اللازمة . كما يمكن بواسطتها معرفة العلاقة بين أجهزة التحكم بعضها ببعض ، وتأثير تشغيل أى مفتاح أو جهاز من أجهزة التحكم على بقية أجهزة الإنذار أو القياس أو الإشارة على أى معدات أخرى . ولنفس الأغراض السابقة تزود معدات القطع والوصل (المفاتيح) وأجهزة التحكم بوسائل لبيان أوضاع تشغيلها ، تفيد هذه الوسائل فى معرفة وضع ملامسات المفاتيح إذا كانت مقفلة أو مفتوحة أو إذا كان هناك خطر أو خطأ بالأجهزة المختلفة .

٢ – وسائل بيان أوضاع تشغيل المفاتيح :

يوجد الكثير من وسائل بيان أوضاع تشغيل المفاتيح وأجهزة التحكم التى تفيد فى معرفة حالة الدوائر الكهربائية لتسهيل الإشراف عليها ومراقبتها لمعرفة ما إذا كانت مفتوحة أم مغلقة .

وتنقسم وسائل البيان التى تزود بها المفاتيح عادة إلى :

(ا) وسائل بيان ضوئية .

(ب) وسائل بيان ميكانيكية .

(ج) وسائل بيان مزدوجة .

(د) وسائل بيان مسموعة .

ومن وسائل البيان الضوئية مصابيح الإشارة ، والتى يطلق عليها المبينات المرئية لأوضاع تشغيل المفاتيح . ومن وسائل البيان المسموعة النفير ، والجرس ، والصفارة . . . إلخ .

(أ) وسائل البيان الضوئية (مصابيح الإشارة) :

توضع مصابيح البيان عادة فى لوحات التوزيع لتبين ظروف أو أوضاع تشغيل الأجهزة والمفاتيح المستخدمة فى عمليات التحكم ، ويجب أن تكون زجاجة هذه المصابيح بارزة وظاهرة فوق سطح المنضدة أو لوحة التوزيع حتى يمكن رؤيتها . وتطلى زجاجة مصابيح البيان عادة بألوان مختلفة ، ويدل كل لون من الألوان المستخدمة فى طلاء مصابيح البيان على وضع معين من أوضاع التشغيل للمفتاح . فيدل اللون الأبيض مثلا على أن المفتاح أو الجهاز أو الدائرة فى حالة تشغيل . ويدل اللون الأخضر على أن المفتاح (الجهاز) سليم ومعد للتشغيل . أما اللون الأحمر فيدل على أن المفتاح أو الجهاز لا يعمل وأن هناك خطأ فى الدائرة التى يعمل عليها الجهاز . وبذلك يمكن للقائم على عمليات التحكم معرفة الحالة التى تكون عليها المعدات أو الدوائر الكهربائية أو شبكات التوزيع التى يقوم بمراقبتها والتحكم فيها .

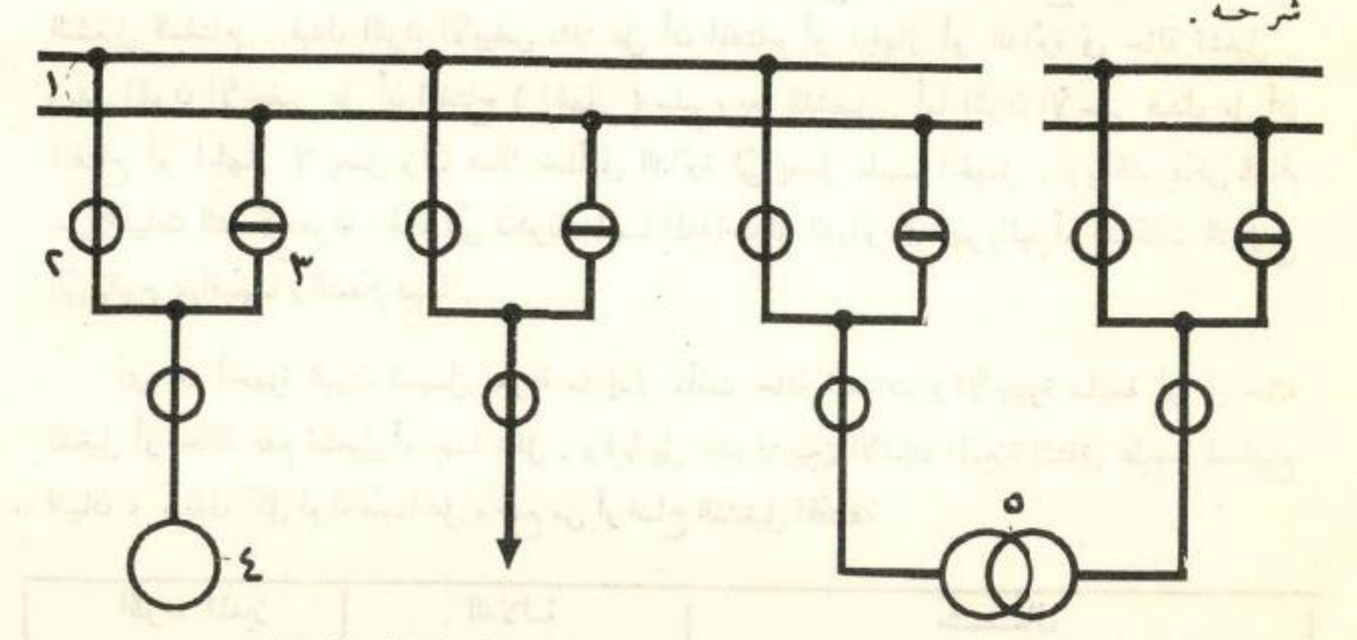
أى أن أجهزة البيان تسهل معرفة ما إذا كانت حالة المعدات والأجهزة سليمة أو فى حالة تشغيل أو حالة عدم تشغيل أو بها خلل . وفيما يلى جدول يبين الألوان المميزة المتفق عليها لمصابيح البيان ، ويدل كل لون منها على وضع من أوضاع التشغيل المختلفة .

اللون المميز	الدلالة	مثال
أحمر	خطر	سقوط أحد المولدات
أخضر	عدم وجود أى خطر	التركيبات والأجهزة سليمة ومعدة للتشغيل .
أبيض	حالة تشغيل	أن المولدات تقوم بالتوليد وفى حالة سليمة.

(ب) وسائل البيان الميكانيكية :

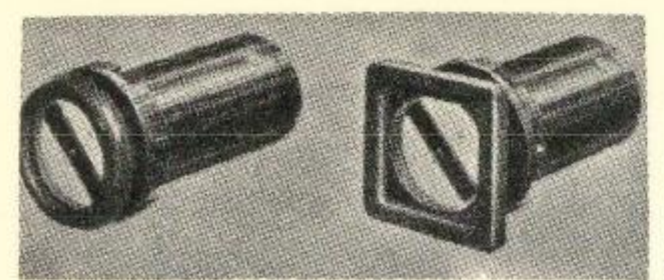
وسائل تستخدم لبيان أوضاع التشغيل المختلفة ، مثل وضع « شغال » (أى يبين حالة التشغيل) ، أو وضع « بطال » (أى وضع عدم تشغيل) ، أو وضع « خطر » (وجود اضطراب أو خلل) وتستخدم هذه الوسائل عادة مع المفاتيح لبيان أوضاع التشغيل المختلفة . ويبين شكل (٩٧) أحد المفاتيح التى تستخدم فيها وسيلة ميكانيكية لبيان أوضاع التشغيل العادية ، وهى فى هذه الحالة عبارة عن قضيب أسود مرسوم فى مركز لوحة معدنية بيضاء مستديرة ، وهذه اللوحة مثبتة على السطح الخارجى الظاهر للمفتاح ، وتثبت اللوحة بالعضو الدوار للمفتاح ، بطريقة معينة ، بحيث يأخذ القضيب الوضع الأفقى عند تحريك المفتاح لقفل الدائرة . وفى حالة فتح الدائرة يحرك العضو الدوار للمفتاح فيأخذ القضيب الوضع الرأسى . وفى حالة وجود أى عطل فإن القضيب يأخذ الوضع المائل .

وتزود مثل هذه المفاتيح بمغنطيسين كهربائيين ، بحيث يمر تيار كهربائى فى أحدهما عند قفل الدائرة فيدير العضو الدوار ، وفى هذة الحالة يأخذ القضيب الأسود الوضع الأفقى . أما فى حالة الوضع « بطال » فتفصل الكهرباء عن ملف المغنطيس الأول ، ويغذى ملف المغنطيس الآخر بالتيار الكهربائى فيجذب العضو الدوار ليفصل الدائرة ، وفى هذا الوضع يأخذ القضيب الأسود المرسوم على سطح المفتاح الوضع الرأسى . أما إذا كان هناك عطل كهربائى أدى إلى قطع الكهرباء عن الدائرة ، وبالتالى عن المغنطيسين ، فإن العضو الدوار للمفتاح يأخذ وضعاً يميل ٤٥° على المحورين الرأسى والأفقى ، لأن المفتاح مزود بزنبرك يضمن وضع العضو الدوار فى هذا الاتجاه عند حدوث عطل كهربائى . ويبين شكل (٩٦) رسماً تخطيطياً لوضع مثل هذه المفاتيح فى الدائرة . أما شكل (٩٨) فيبين الاحتمالات المختلفة لأوضاع المفتاح التى تناظر أوضاع التشغيل المختلفة كما سبق شرحه .

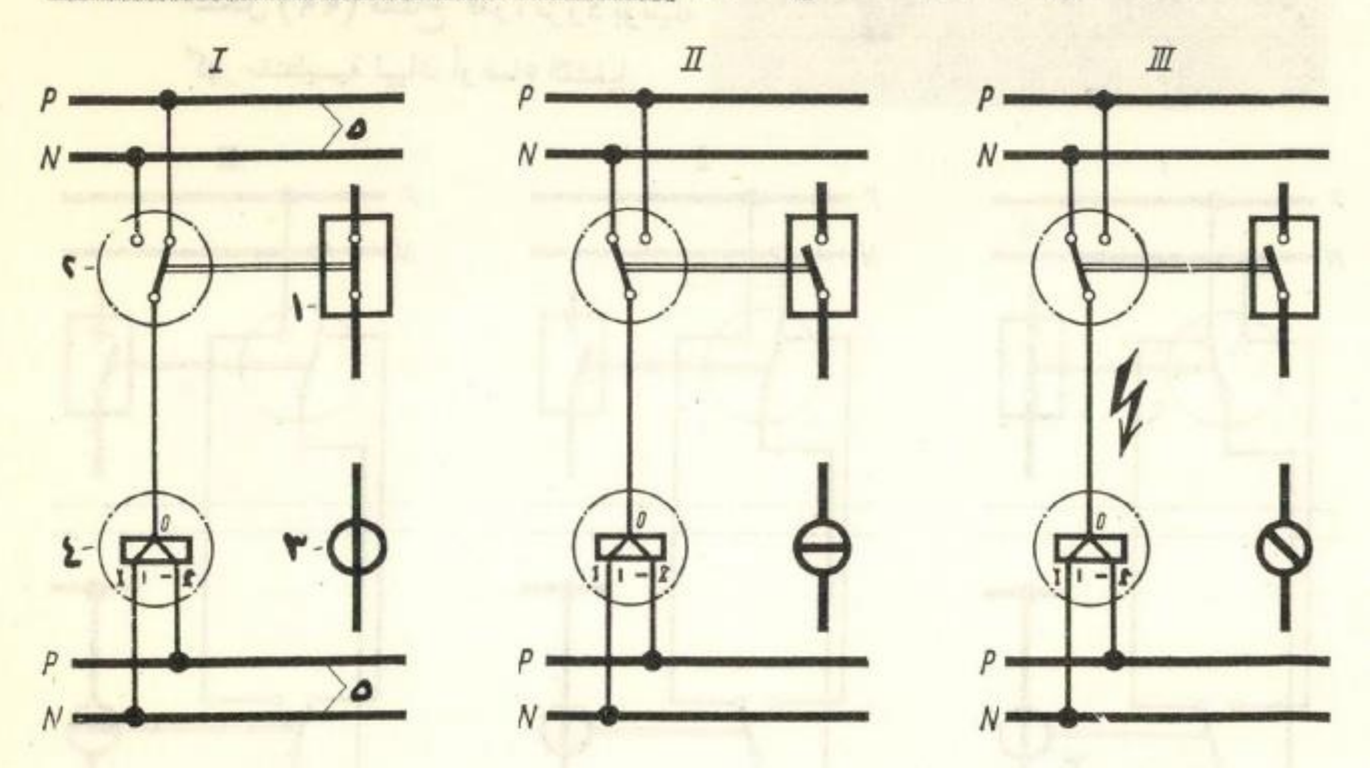


الشكل (٩٦) رسم تخطيطى لوسائل البيان المستخدمة فى معدات القطع والوصل

١ — قضبان توزيع
٢ — مبين يدل على أن دائرة التيار مغلقة
٣ — مبين يدل على أن دائرة التيار مفتوحة
٤ — المولد
٥ — المحول



الشكل (٩٧) مفتاح مزود بمبين لأوضاع التشغيل



الشكل (٩٨) رسم تخطيطى لمفتاح قدرة مزود بوسيلة كهرمغنطيسية لبيان أوضاع التشغيل

١ – مفتاح القدرة
٢ – مفتاح تحكم لتشغيل مبين أوضاع التشغيل .
٣ – مبين أوضاع التشغيل الكهرمغنطيسى
٤ – رسم تخطيطى لدائرة توصيل المبين .
٥ – مصدر للتيار المستمر .

الوضع الأول :

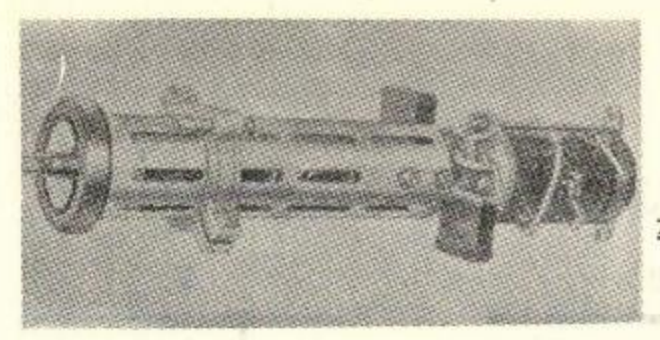
فى هذا الوضع يقوم المفتاح بغلق الدائرة . ويأخذ مفتاح التحكم وضعا معينا بحيث يمر التيار المستمر خلال المغنطيس الكهربائى لمبين أوضاع التشغيل من (P) إلى (O) إلى (١) إلى (N) وبذلك يأخذ مبين أوضاع التشغيل الوضع الرأسى .

الوضع الثانى :

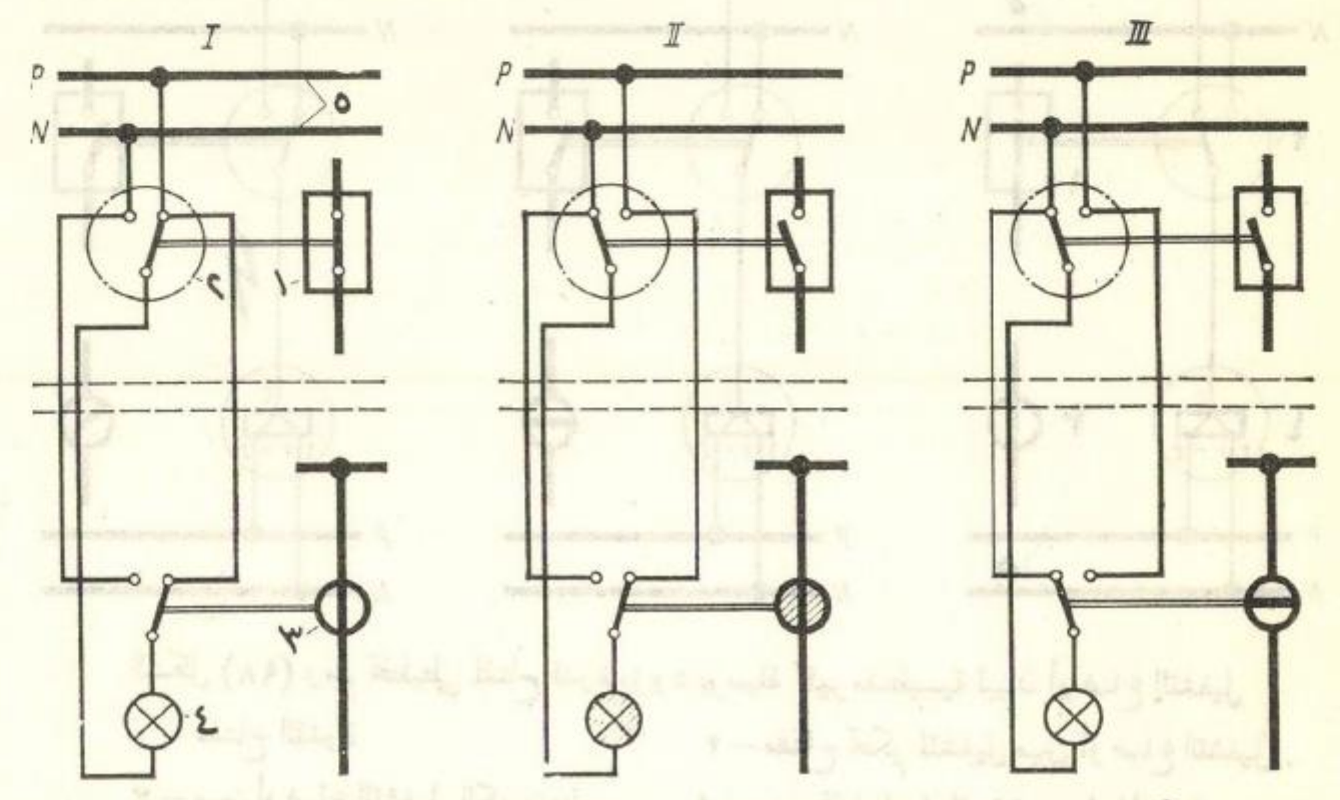
فى هذا الوضع يقوم المفتاح بفتح الدائرة . ويأخذ مفتاح التحكم وضعا معينا بحيث يمر التيار المستمر خلال المغنطيس الكهربائى لمبين أوضاع التشغيل فى اتجاه عكس الاتجاه السابق فيمر من (P) إلى (٢) إلى (O) إلى (N) وبذلك يأخذ مبين أوضاع التشغيل الوضع الأفقى .

الوضع الثالث :

هذا الوضع يدل على حدوث عطل بالدائرة ، ولذلك لا يمر تيار المغنطيس الكهربائى فيدفع اليأى العضو الدوار للمبين بحيث يأخذ وضعا مائلا بزاوية ٤٥°



الشكل (٩٩) مفتاح قدرة مزود بوسيلة كهرمغنطيسية لبيان أوضاع التشغيل



الشكل (١٠٠) رسم تخطيطى لمفتاح قدرة مزود بوسيلتين من وسائل البيان .

١ – مفتاح القدرة . ٢ – مفتاح تحكم يرتبط عمله بمفتاح القدرة

٣ – مبين لأوضاع تشغيل المفتاح وهى مرسومة على مقبض المفتاح(وسيلة البيان الأولى)

٤ – مصباح بيان (وسيلة البيان الثانية) . ٥ – مصدر للتيار المستمر .

الوضع الأول :

فى هذا الوضع يقوم مفتاح القدرة بغلق الدائرة . وفى هذا الوضع تدل وسيلة البيان الأولى (المرسومة على مقبض المفتاح) على أن الدائرة مغلقة حيث تأخذ الوضع الرأسى . وفى نفس الوقت تدل وسيلة البيان الثانية (مصباح البيان) على أن المفتاح فى وضع التشغيل فتضئ باللون الأبيض .

الوضع الثانى :

فى هذا الوضع يقوم مفتاح القدرة بفتح الدائرة . وتدل وسيلة البيان الأولى (المرسومة على مقبض تشغيل المفتاح) على أن الدائرة مفتوحة، حيث تأخذ الوضع الأفقى وفى نفس الوقت تدل وسيلة البيان الثانية أيضا (مصباح البيان) على أن الدائرة مفتوحة فتضئ باللون الأخضر .

الوضع الثالث :

هذا الوضع يدل على حدوث عطل بالدائرة. وتدل وسيلة البيان الأولى على أن الدائرة بها عطل (فتأخذ الوضع المائل) وفى نفس الوقت لا يضئ مصباح البيان (الوسيلة الثانية) .

وقد تستخدم مع المفاتيح وسائل بيان ضوئية بالإضافة إلى المبينات الميكانيكية لبيان أوضاع التشغيل . ويطلق على المفاتيح فى هذه الحالة اسم « مفاتيح بوسائل بيان مزدوجة » .

(ج) وسائل البيان المزدوجة :

فى هذه الحالة تزود المفاتيح بوسيلتين من وسائل بيان أوضاع التشغيل.ويبين شكل (٩٩) أحد المفاتيح من هذا النوع فيه وسيلة البيان الأولى ميكانيكية، وهى عبارة عن ذراع تشغيل يدل وضعها الأفقى على أن المفتاح « شغال »، ويدل وضعها الرأسى على أن المفتاح « بطال » ، ووضعها المائل عل أن هناك عطل . أما وسيلة البيان الثانية فهى عبارة عن مصابيح إشارة (وسيلة بيان ضوئية) لبيان نفس هذه الأوضاع المختلفة.وقد تكون إحدى الوسيلتين موجودة فى نفس المكان المستخدم به المفتاح، بينما تكون الوسيلة الأخرى فى مكان آخر يرتبط تشغيله بتشغيل هذه المفاتيح.ولذلك تستخدم مثل هذه المفاتيح فى المحطات التى يرتبط تشغيل كل منها بالأخرى . فإذا أخذ مفتاح ما مركب فى إحدى المحطات وضعاً معيناً من أوضاع التشغيل ، فإن هذا الوضع يظهر بوضوح فى المحطة الأخرى. وبهذه الكيفية يمكن معرفة وضع المفتاح والتحكم فيه من المحطات الأخرى إذا لزم الأمر . ويبين شكل (١٠٠) نوعاً من أنواع هذه المفاتيح .

(د) وسائل البيان المسموعة :

بالإضافة إلى وسائل البيان الضوئية والميكانيكية والمزدوجة فإنه توجد وسائل بيان مسموعة ذات تصميم يلائم أغراض التحكم والإشراف على الطاقة الكهربائية بجهد عال أو بجهد منخفض. ومن أمثلتها النفير ، والجرس ، والصفارة . وسيأتى شرح هذه الوسائل جميعاً فى هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية عند الكلام عن أجهزة تحويل الإشارات الكهربائية إلى إشارات مسموعة .

(ثانيا) وسائل التحكم فى الجهد المنخفض

(٣٨) عـــام :

تستخدم للتحكم فى الجهد المنخفض نفس العناصر والوسائل المستخدمة للتحكم فى الجهد العالى ، وتقوم هذه الوسائل أيضاً بالتحكم فى الكميات الكهربائية وفى قطع ووصل الدوائر الكهربائية فى الجهد المنخفض . ويختلف تصميم هذه الوسائل عن تصميم وسائل التحكم فى الجهد العالى ، حيث أن مقننات التيار أو الجهد فى وسائل تحكم الجهد المنخفض أقل بكثير من تلك المستخدمة فى الجهد العالى . ولذلك فهى أصغر حجماً وأقل فى مستوى العزل والأداء من وسائل الجهد العالى . وفيما يلى شرح لأهم المفاتيح ووسائل التحكم المستخدمة فى الجهد المنخفض،مع شرح مبسط لطرق تركيبها وعملها وكيفية توصيلها مع الدوائر الكهربانية .

(٣٩) وسائل القطع والوصل فى الجهد المنخفض :

تعتبر الوسائل الآتية من أهم الوسائل المستخدمة فى قطع ووصل التيار فى الجهد المنخفض :

١ – المفاتيح .　　٢ – بادئات التشغيل .　　٣ – عناصر التحكم .

٤ – وسائل القرن الكهربائى (أى وسائل التوصيل بين سلك قابل للحركة وآخر ثابت) .

٥ – المصاهر

وفيما يلي جدول ببين المقارنة بين الأنواع المختلفة لوسائل التحكم ومعدات القطع والوصل فى الجهد المنخفض :

المفاتيح	بادئات التشغيل	عناصر التحكم	وسائل القرن	المصاهر
أنواع المفاتيح : (أ) تصنيف المفاتيح تبعاً لطريقة أدائها ، مثل مفاتيح التحكم ، المفاتيح العادية ومفاتيح التلامس	بادئات تشغيل بمقاومات على هيئة صفائح أو شرائح مبططة ، أو بادئ تشغيل على شكل طبل .	ريوستات المجال لتنظيم الجهد .	وسائل قرن بملامسات محمية .	مصاهر خطوط التغذية .
(ب) تصنيف المفاتيح تبعاً لطريقة تشغيلها مثل مفتاح يدوى ، أو مفتاح بالقدم أو مفتاح للتحكم من بعد (بطريقة كهرمغنطيسية أو بواسطة محرك أو بواسطة الهواء المضغوط) .	بادئ تشغيل بمقاومة على هيئة سائل .	وسائل التحكم فى السرعة لضبطها وتغييرها	وسائل قرن بملامسات غير محمية .	مصاهر ذات قواطع أوتوماتيكية .
(ج) تصنيف المفاتيح تبعاً لنوع الأجهزة التى تستخدم فيها ، مثل وسائل العتق والمرحلات .			قابس ومقبس عادى أو قابس ومقبس حائط .	

٦ ٥ ٤ ٣ ٢ ١

الشكل (١٠١) رمز تخطيطى لمفتاح تحكم

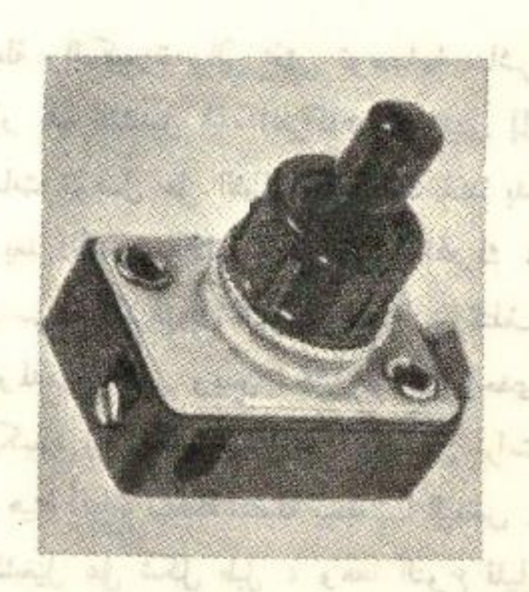
١ – مفتاح عادى يعمل يدويا
٢ – مفتاح عادى يعمل بالقدم
٣ – قاطع دائرة
٤ – قاطع دائرة بثلاثة أقطاب
٥ – مفتاح قلاب .
٦ – مفتاح لدوائر متعددة .

١ – المفاتيح :

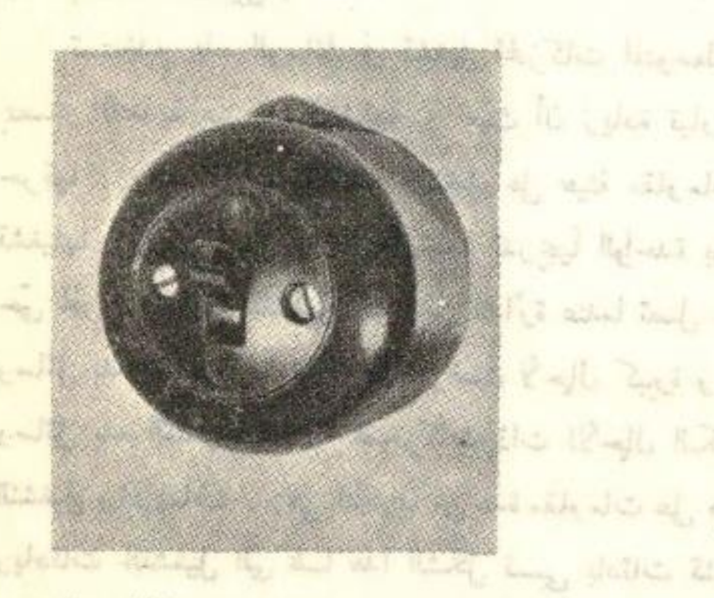
يراعى عند استخدام المفاتيح فى الجهد المنخفض أن تكون ملائمة للجهد والتيار اللذين ستستخدم معهما . لذلك يوجد العديد من الطرز المختلفة للمفاتيح المستخدمة فى الجهد المنخفض سواء لقطع أو وصل الدوائر الكهربائية ، أو مفاتيح التلامس المستخدمة فى التحكم فى الكميات الكهربائية الخاصة بالأجهزة والمعدات المختلفة (مثل التيار والجهد والطاقة ... إلخ) . ويبين الجدول السابق أنواع المفاتيح المختلفة وطرق استخدامها . وفيما يلى مسح لهذه الأنواع :

– تبين الأشكال (١٠١) ، (١٠٢) ، (١٠٣) أنواعاً من المفاتيح التى تعمل يدوياً أو بالقدم عند الضغط عليها ، وتظل فى وضع التشغيل ولا ترجع إلى مكانها الأصلى إلا عند الضغط عليها مرة ثانية عند الحاجة ، ومثل هذه المفاتيح يستخدم فى التحكم فى طاقة كهربائية بقدرة منخفضة .

– يبين الشكل (١٠٤) نوعاً من المفاتيح التى تستخدم مع المحركات للتحكم والإشراف على تشغيلها .



الشكل (١٠٢) مفتاح عادى يصلح للتركيبات الكهربائية المنزلية أو أى معدات للإضاءة .



الشكل (١٠٣) مفتاح للإنارة المنزلية (خارج الحائط)

– يبين شكل (١٠٥) نوعاً من المفاتيح الصامدة للرطوبة والمياه،ويطلق عليها فى معظم الأحيان اسم مفاتيح التلامس .

– كما يبين الشكل (١٠٦) نوعاً من أنواع المفاتيح العادية التى تعود إلى وضعها الأصلى أتوماتيكياً بعد تشغيلها (مفاتيح بعودة ذاتية) .

– ويبين الشكلان (١٠٧) ، (١٠٨) نوعين من مفاتيح التلامس التى تعمل بوسيلة كهرمغنطيسية لتعيده إلى مكانه الأصلى أتوماتيكياً .

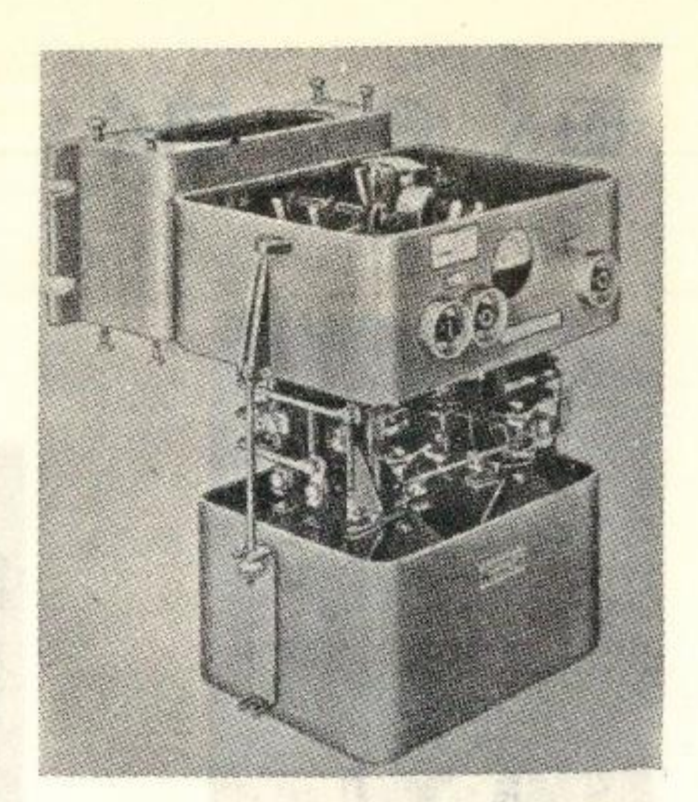
ويبين الشكل (١٠٩) رسماً تخطيطياً لأنواع مفاتيح التحكم من بعد ، وتزود هذه المفاتيح عادة بمحركات صغيرة للتحكم فى عناصر أية دائرة كهربائية موضوعة على مسافة بعيدة منها ، كما تبين الأشكال من (١١٠) إلى (١١٢) أيضاً عدة أنواع مختلفة من هذا الطراز .

ويبين الشكل (١١٣) رسماً تخطيطياً لبعض وسائل العتق التى تعتبر هى الأخرى نوعاً من أنواع المفاتيح أو وسائل القطع والوصل التى تعمل نتيجة لتغير أى كمية فيزيقية سبق تحديدها . مثال ذلك وسائل العتق التى تعمل عندما تزيد أو تقل قيمة الجهد أو التيار عن حد معين ، أو تعمل نتيجة لارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة عن قيمة معينة .

ويبين الشكل (١١٤) رسماً تخطيطياً لأحد أنواع المرحلات . وتسمى المرحلات فى بعض الأحيان بالمفاتيح الرئيسية ، وتستخدم للتحكم فى العناصر المكونة للدوائر الكهربائية . وهى تختلف عن المفاتيح ووسائل العتق فى أنها تعمل إذا سلط عليها جهد معين هو جهد التحكم ، وتعود إلى مكانها الأصلى بمجرد رفع الجهد عنها . وقد يطلق على المرحلات التى تقوم بتشغيل المعدات ذات الأحمال العالية اسم « مفاتيح التلامس المستخدمة فى الأغراض الصناعية » .

٢ – بادئات التشغيل :

تستخدم هذه الوسائل فى تشغيل المحركات المتوسطة والكبيرة والتى يخشى توصيلها مباشرة بمصدر التغذية عند بدء تشغيلها ، حيث أن زيادة تيار بدء التشغيل لهذه المحركات قد تؤدى إلى حرقها . وقد تكون بادئات التشغيل على هيئة مقاومات توصل على التوالى بالمحركات عند بدء تشغيلها ، ويتم فصل هذه المقاومات تدريجياً الواحدة بعد الأخرى كلما زادت سرعة المحرك ، حتى تخرج بادئات التشغيل كلها من الدائرة عندما تصل سرعة المحرك إلى السرعة المقننة . وتتلف وسائل بدء التشغيل عادة إذا ما تعرضت لأحمال كبيرة ولمدد طويلة . ويبين شكل (١١٥) إحدى وسائل بدء التشغيل الملائمة للمحركات ذات الأحمال الكبيرة والتى تتعرض لعدد كبير من مرات التشغيل والإيقاف . وهى تتكون من عدة مقاومات على هيئة ألواح مبططة متصلة ببعضها البعض . وبادئات التشغيل التى لها هذا الشكل تسمى بادئات تشغيل على شكل طبل ، وهذا النوع قليل الاستعمال . ويبين شكل (١١٦) بادئ تشغيل تجارى يستعمل فى الأغراض العامة . وفى بعض الأحيان تستخدم السوائل (كمحلول الصودا مثلا) كمقاومات بدء التشغيل ، مثل تلك المبينة فى شكل (١١٧).



الشكل ١٠٤) مفتاح للاستخدام فى إدارة المحركات .

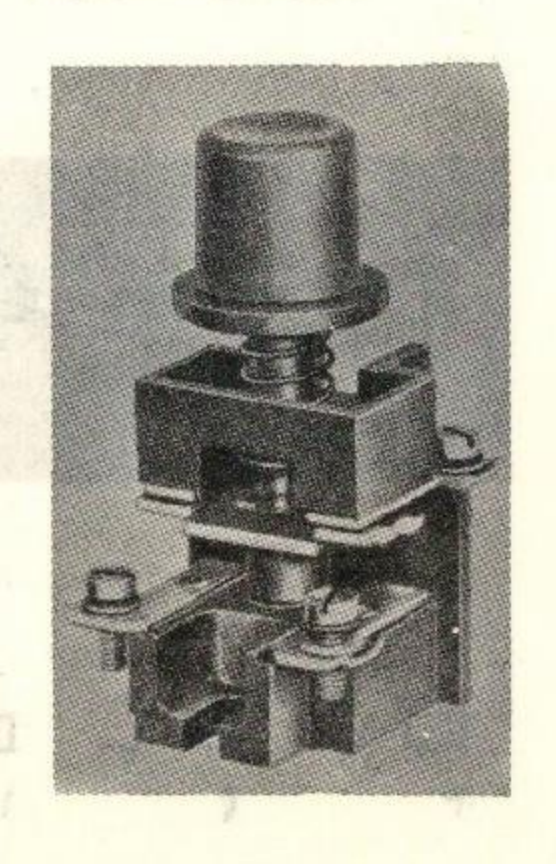


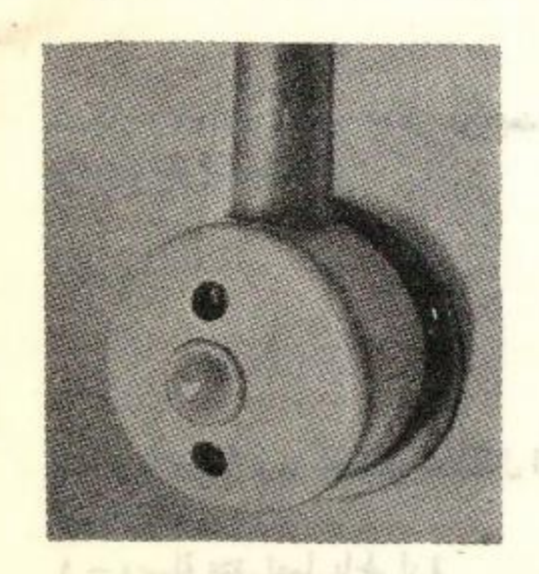
الشكل (١٠٥) مفتاح كهربائى مانع لتسرب الماء إلى داخله

الشكل (١٠٦) رمز تخطيطى لمفاتيح السكينة
١ – مفتاح توصيل
٢ – قاطع .
٣ – مفتاح ثنائى القطب للقطع و الوصل .

٣ ٢ ١

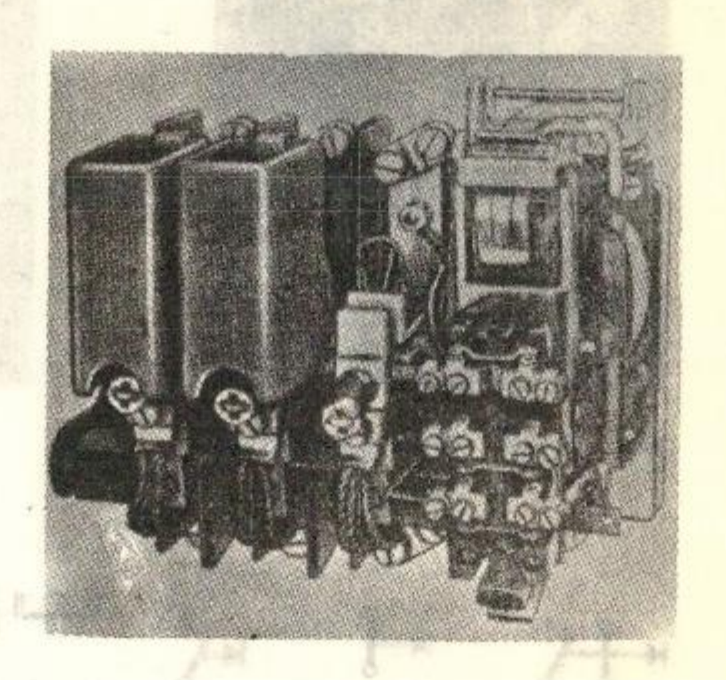
الشكل (١٠٧) مفتاح للتر كيب فى لوحات التوزيع



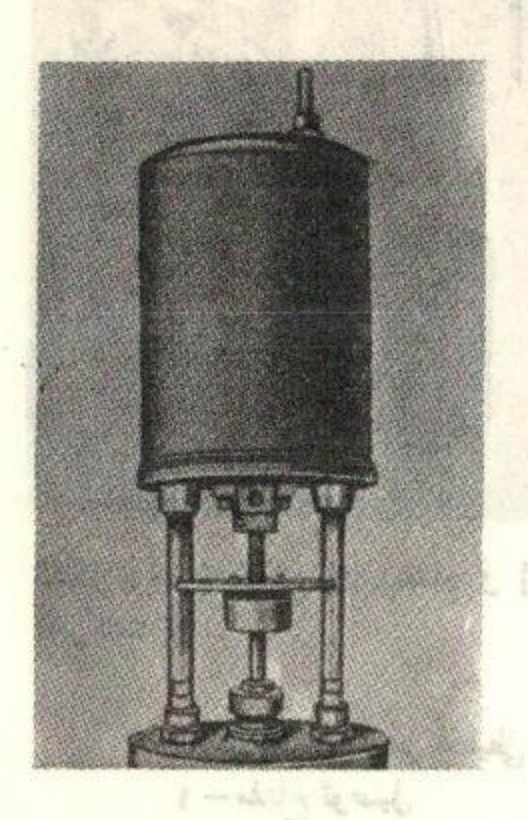


الشكل (١٠٨) مفتاح سكينة للاستخدام فى إنارة السلم

الشكل (١٠٩) رمز تخطيطى للأشكال المختلفة لمفاتيح التحكم من بعد
١ – مفتاح يعمل بمغنطيس كهربائى
٢ – مفتاح يعمل بمحرك كهربائى
٣ – مفتاح يعمل بالهواء المضغوط

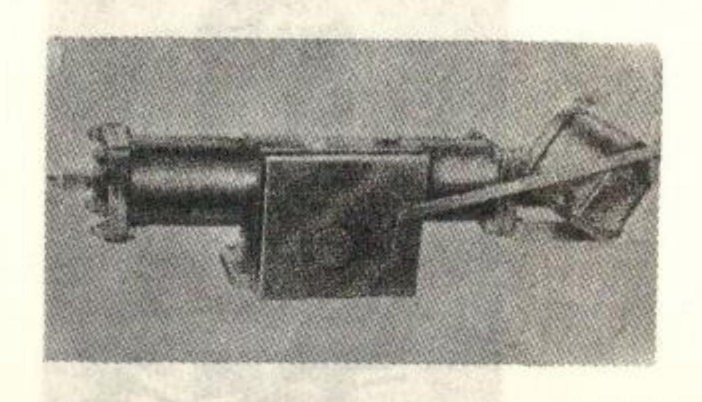


الشكل (١١٠) مفتاح تحكم من بعد يعمل بواسطة مغنطيس كهربائى



الشكل (١١١) مفتاح تحكم من بعد يعمل بواسطة محرك كهربائى

الشكل (١١٢) مفتاح تحكم من بعد يعمل بواسطة الهواء المضغوط



الشكل (١١٣) رمز تخطيطى للأشكال المختلفة لوسائل العتق
١ – وسيلة عتق تعمل بالحرارة
٢ – وسيلة تعمل عند ارتفاع الجهد .
٣ – وسيلة عتق تعمل عند انخفاض شدة التيار .



الشكل (١١٤) رمز تخطيطى لأنواع المرحلات

١ – مرحل يعمل عند فتح الدائرة

٢ – مرحل يعمل عند غلق الدائرة

٣ – عناصر التحكم :

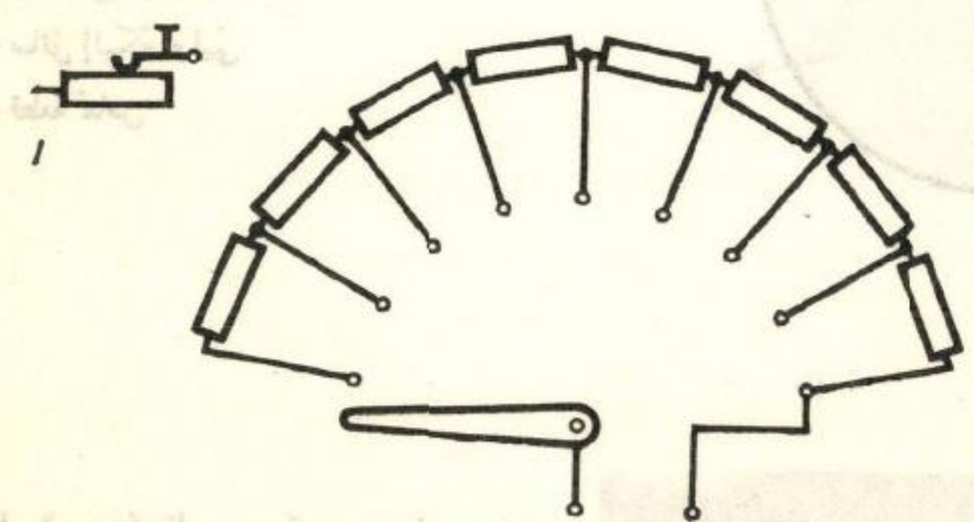
هى عناصر تستخدم لتغيير أوضاع تشغيل الآلات الكهربائية ، مثال ذلك عناصر التحكم المستخدمة لتغيير سرعة المحركات أو تغيير إثارة المولدات أو ضبطهما حسب الحاجة . ولعناصر التحكم نفس مميزات عمل بادئات التشغيل ونفس تصميمها ، إلا أنه يمكن تحميلها لمدد طويلة .

والبادئات المستخدمة للتحكم فى سرعة المحركات وضبطها مشابهة لعناصر التحكم تماماً ، غير أنه يقتصر تشغيلها على تنظيم سرعة المحركات وليس لأغراض بدء تشغيلها .

٤ – وسائل القرن :

تستخدم هذه الوسائل عادة لتوصيل مصادر التغذية الثابتة بالأجهزة أو الآلات غير الثابتة أو المتحركة أو القابلة للنقل . ومثال ذلك توصيل أجهزة الراديو أو السخانات أو المصابيح المتنقلة أو المثاقب اليدوية أو الخلاطات بمصادر التغذية . وتبين الأشكال من (١١٨) إلى (١٢١) أكثر نظم القرن استعمالا وشيوعاً ، وأهمها القابس والمقبس .

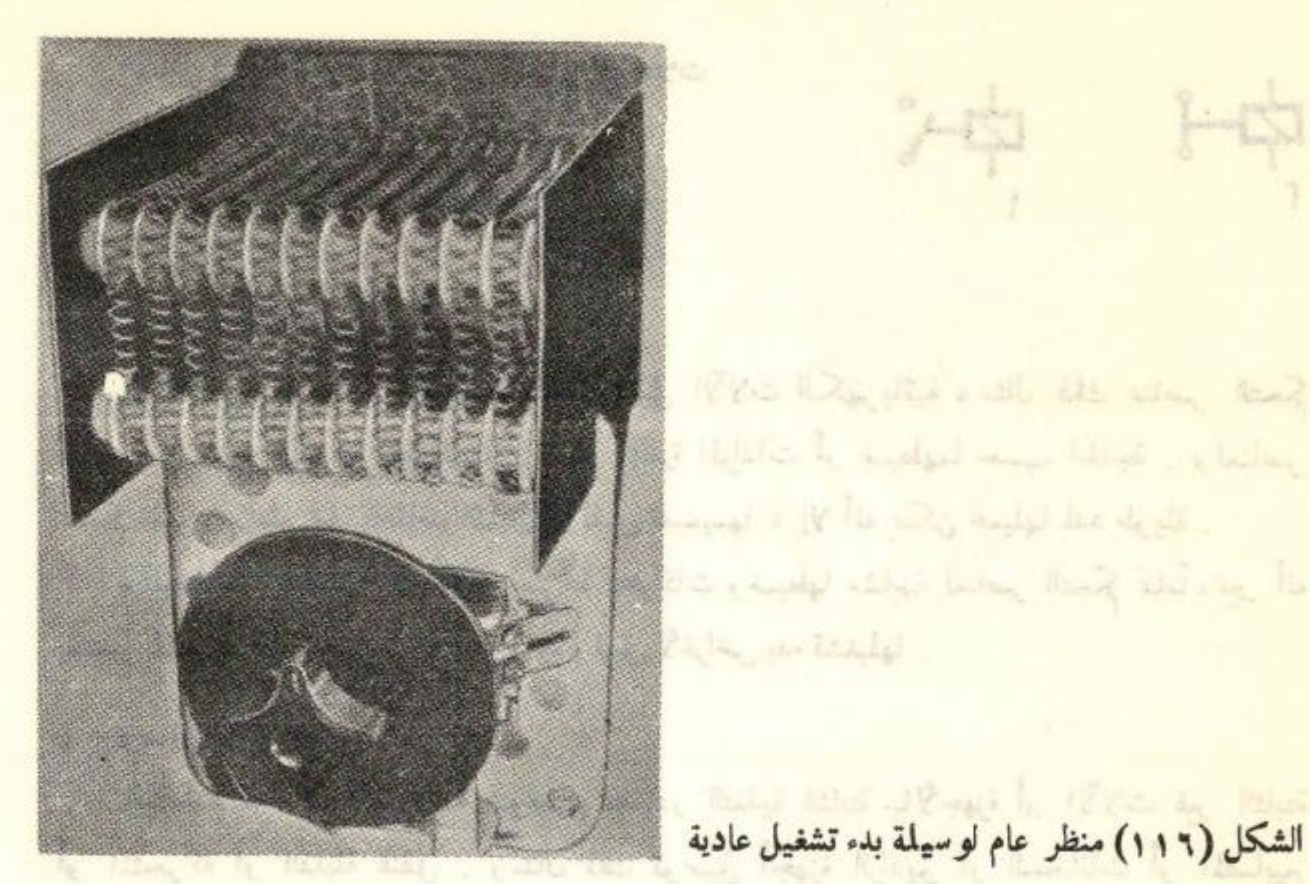
وتستخدم فى بعض هذه الوسائل بالإضافة إلى الملامسات الحية ملامسات للحماية ، لتوصيل الأجهزة بالأرض خلال هذه الملامسات المؤرضة أو لتوصيل الأجهزة بنقطة التعادل . وعند وضع المقبس فى القابس يدخل ملامس الحماية فى ثقب القابس المؤرض قبل دخول بقية الملامسات الحية فى ثقوبها .



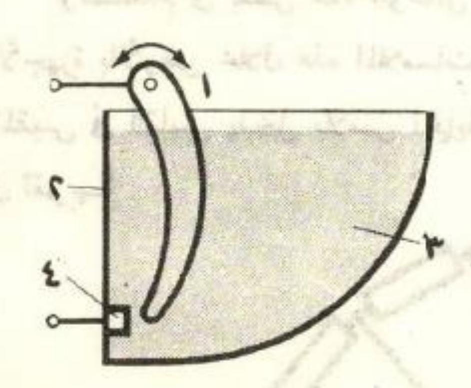
الشكل (١١٥) وسيلة بدء التشغيل .

١ – رمز تخطيطى لوسيلة بدء تشغيل .

٢ – رسم تخطيطى لوسيلة بدء تشغيل مكونة من مقاومات مسطحة .

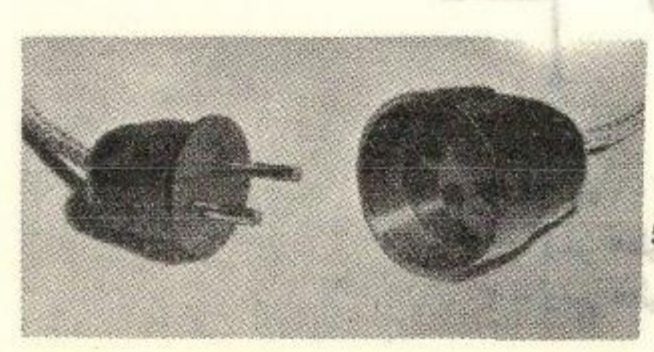


الشكل (١١٦) منظر عام لوسيلة بدء تشغيل عادية



الشكل (١١٧) رسم تخطيطي لوسيلة بدء تشغيل بالسائل

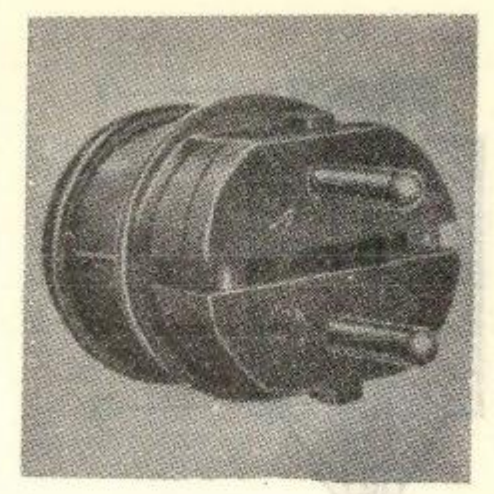
١ – قطعة تماس دوارة على شكل قوس
٢ – وعاء من البلاستيك
٣ – سائل إليكتروليتي
٤ – قطعة تماس



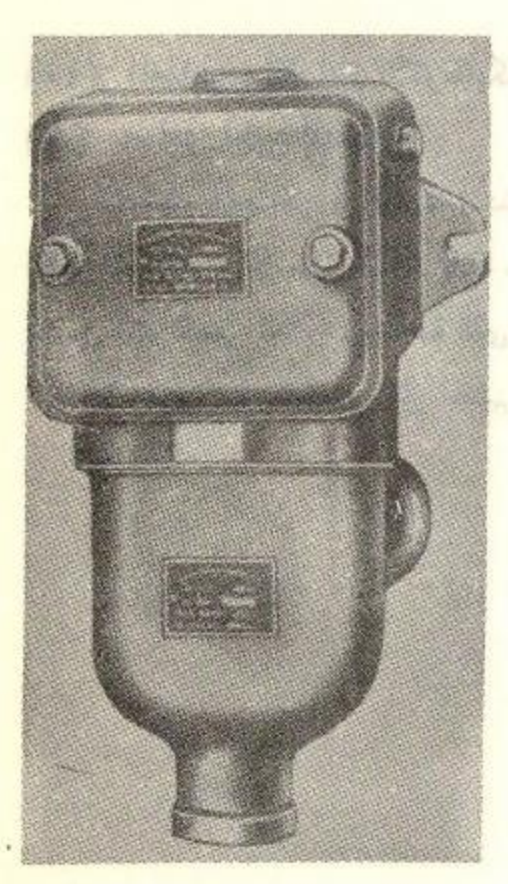
الشكل (١١٨) قابس ومقبس بدون وسيله تأريض (الحماية)

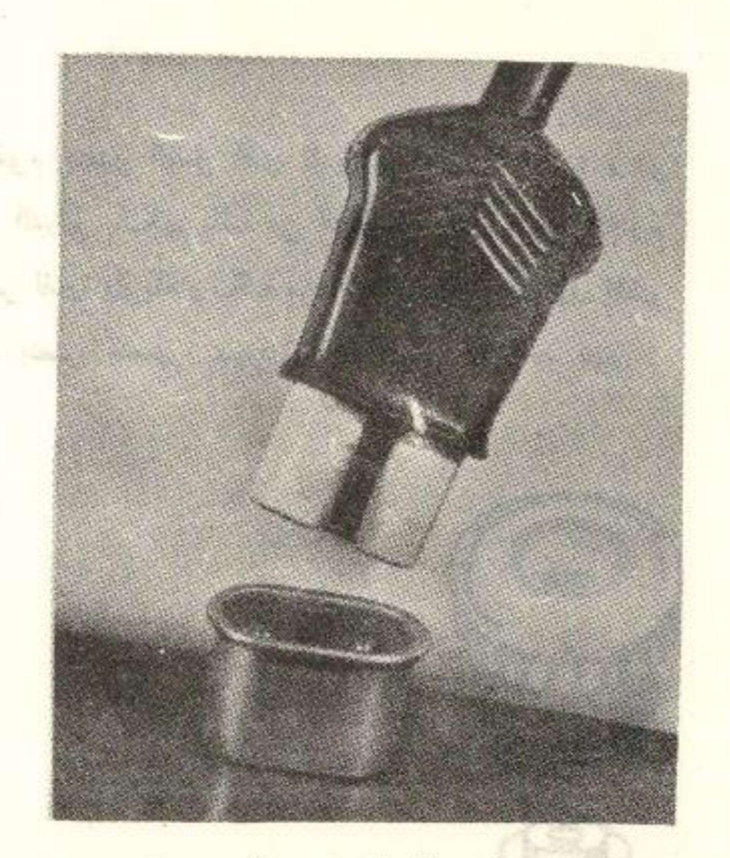
١ – مقبس يستخدم كقارن لقابس ثابت أو متحرك
٢ – قابس ومقبس متحركين





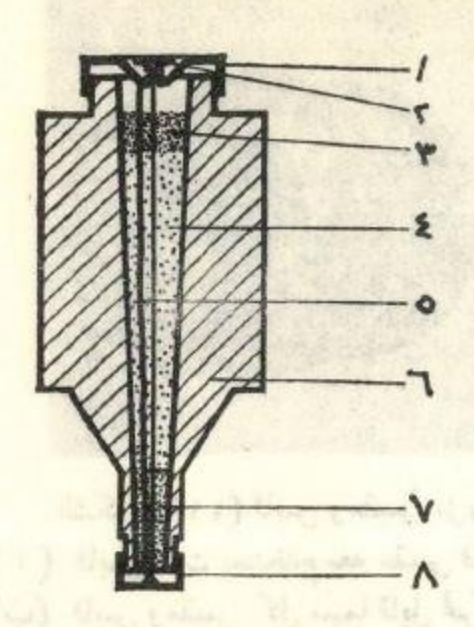
الشكل (١١٩) قابس ومقبس مزودان بوسيلة تأريض للحماية
(ا) قابس ثابت يستخدم معه مقبس قابل للحركة
(ب) قابس ومقبس كل منهما قابل للحركة .





الشكل (١٢٠) نظام قارن من قابس ومقبس يستخدم للأجهزة المنزلية
١ – قابس ثابت مزود بحلقات للحماية (يثبت بالجهاز)
٢ – مقبس متحرك

الشكل (١٢١) قابس ومقبس بطاقة عالية (طراز شروود)
يستخدم القابس والمقبس ذو الطاقة العالية فى الدوائر الكهربائية وفى الأغراض التى تحتاج إلى نظام قرن قابل للحركة. ويتحمل هذا النوع الاستعمال الشديد والخدمة الشاقة. فتستخدم فى معدات الزراعة وفى المناجم وفى الصناعة .

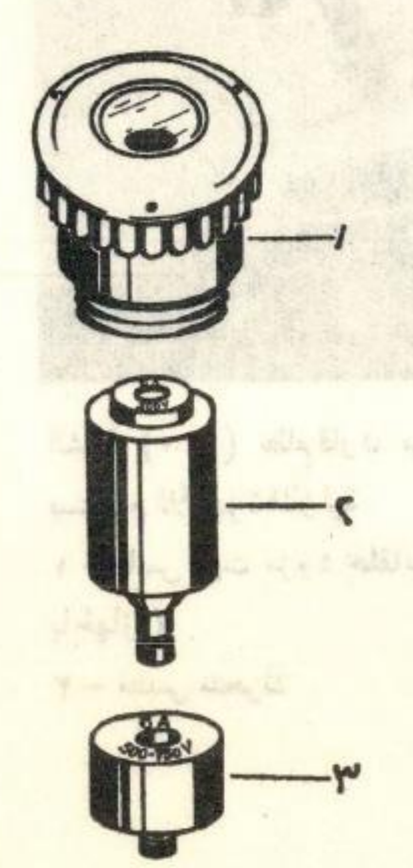


الشكل (١٢٢) وصلة مصهر من النوع العادى
١ — سطح التلامس
٢ — قرص البيان
٣ — اسبستوس
٤ — رمل
٥ — عنصر المصهر
٦ — الوعاء الصينى العازل
٧ — مادة لاصقة
٨ — بنز التلامس

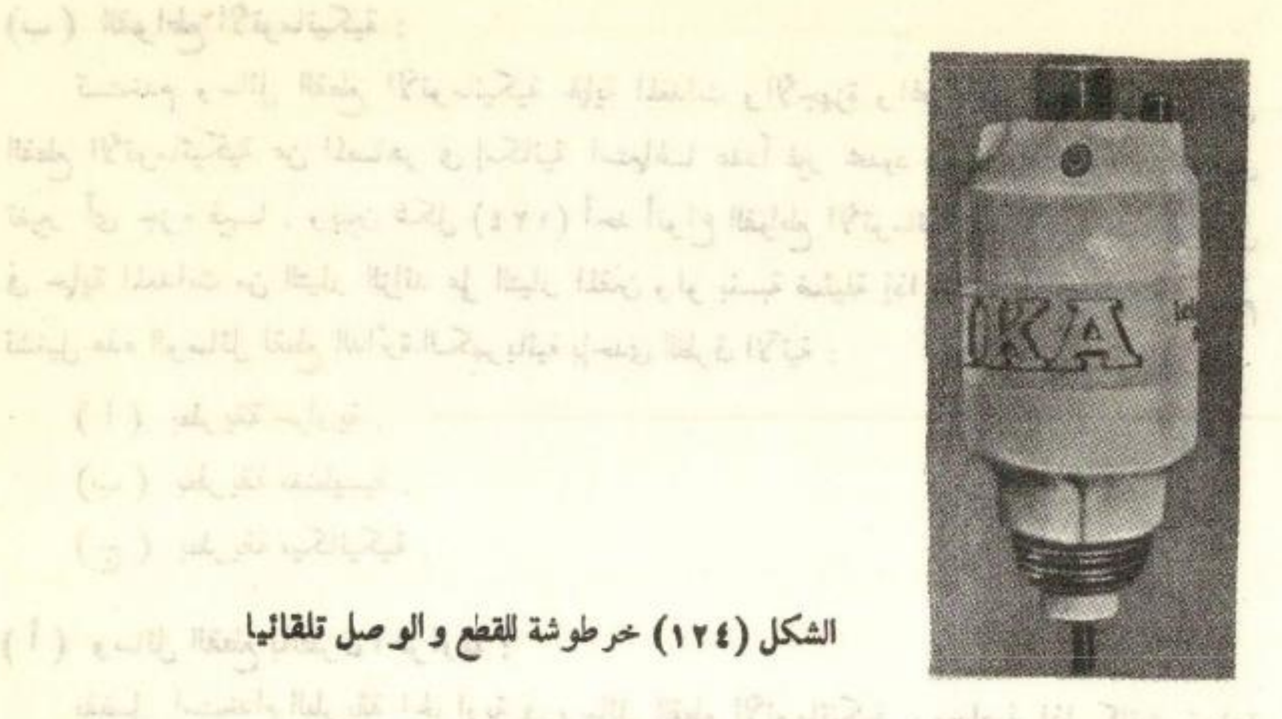
(٤٠) المصاهر والقواطع الأتوماتيكية :

(أ) مصاهر الجهد المنخفض :

تستخدم المصاهر فى الجهد المنخفض لتقوم بنفس العمل الذى تؤديه فى الجهد العالى ، وهو حماية المعدات والأجهزة الكهربائية وعناصر الدوائر الكهربائية من التيارات الزائدة على اللازم أو من تيار قصر الدائرة ،وخاصة الذى لا يستمر لفترة طويلة ولكنه من الشدة بحيث يؤدى إلى تلف هذه الأجهزة . ويتلخص عمل المصهر فى أن عنصره ينصهر بمجرد زيادة التيار على حد معين .



الشكل (١٢٣) مكونات المصهر العادى
١ — الغطاء الملولب
٢ — وصلة المصهر
٣ — الحلقة الحاكة



الشكل (١٢٤) خرطوشة للقطع والوصل تلقائيا

وتصنع المصاهر عادة بمقننات مختلفة حتى ٦٠ أمبير . ويتكون المصهر من الأجزاء الرئيسية التالية : قاعدة المصهر – الحلقة الحاكة – وصلة المصهر – الغطاء اللولبى . ويبين شكل (١٢٢) تصميما لوصلة مصهر من النوع العادى المستخدم فى حماية خطوط التغذية فى الجهد المنخفض . ومن المعروف أن وصلات المصهر تصمم عادة لتلائم الجهد والتيار اللذين يعمل عليهما المصهر ، على أن يراعى فى تصميمها أيضاً عدم حدوث أى خطر نتيجة للإهمال أو عدم الاكتراث فى اختبار المصهر المناسب . ولذلك تصمم قاعدة المصاهر بحيث لا يسمح بوضع وصلة مصهر بمقنن أكبر فى قاعدة مصهر بمقنن صغير ، وعلى ذلك لا يمكن لوصلة مصهر ٣٥ أمبير أن تدخل فى قاعدة مصهر ١٠ أمبير .

ويبين شكل (١٢٣) الغطاء اللولبى ووصلة المصهر والحلقة الحاكة لأحد المصاهر المستخدمة فى حماية خط تغذية . ويكون القطر الخارجى للملامس المعدنى الموجود فى نهاية وصلة المصهر ملائماً تماماً للقطر الداخلى للحلقة الحاكة ، وبذلك نضمن عدم وضع وصلة مصهر فى قاعدة أو غطاء مصهر بمقنن أقل . وتستخدم فى هذه المصاهر لوحة بيان تدل على حالة عنصر المصهر ، أى ما إذا كان فى حالة سليمة من عدمه . وتوضع لوحات البيان هذه على السطح الأمامى لوصلة المصهر . وتتكون لوحة البيان عادة من صفيحة صغيرة متصلة بفتيلة المصهر عن طريق سلك زنبركى . وعندما تنصهر فتيلة المصهر يقوم السلك الزنبركى بدفع لوحة البيان من مكانها فتسقط ، وفى هذه الحالة يلزم تغيير وصلة المصهر بأكلها بأخرى لها نفس قيمة التيار المقنن (وقد سبق شرح عمل لوحة البيان فى مصاهر الجهد العالى) . وتلون لوحة البيان عادة بألوان مختلفة يدل كل لون منها على التيار المقنن الخاص بوصلة المصهر . فيدل اللون الأحمر على أن التيار المقنن ١٠ أمبير ؛ واللون الأزرق على أن التيار المقنن ٢٠ أمبير ، وهكذا .

(ب) القواطع الأتوماتيكية :

تستخدم وسائل القطع الأتوماتيكية لحماية المعدات والأجهزة والمحركات . وتختلف وسائل القطع الأتوماتيكية عن المصاهر فى إمكانية استعمالها عدداً غير محدود من الممرات دون حاجة إلى تغيير أى جزء فيها . ويبين شكل (١٢٤) أحد أنواع القواطع الأتوماتيكية . وتفيد هذه الوسائل فى حماية المعدات من التيار الزائد على التيار المقنن ولو بنسبة ضئيلة إذا استمر لفترة طويلة . ويتم تشغيل هذه الوسائل لقطع الدائرة الكهربائية بإحدى الطرق الآتية :

(ا) بطريقة حرارية .
(ب) بطريقة مغنطيسية .
(ج) بطريقة ميكانيكية .

(أ) وسائل القطع بالطرق الحرارية :

يفضل استخدام الطريقة الحرارية فى وسائل القطع الأتوماتيكية ، وخاصة إذا كانت زيادة التيار تم بطريقة تدريجية ولمدة طويلة .

ويتلخص عمل وسائل القطع بالطريقة الحرارية فى الآتى :

تؤدى زيادة تيار التشغيل على حد معين إلى تسخين جزء ثنائى المعدن ، يتمدد بالتسخين نتيجة لمرور التيار الزائد فيه بطريقة مباشرة أو بطريقة غير مباشرة . فعندما يتمدد الجزء الثنائى المعدن حتى يصل إلى حد معين فإنه يدفع أمامه سقاطة تؤدى إلى فتح الدائرة الكهربائية عن طريق وسيلة عتق كتلك التى سبق شرحها .

ولا تفيد هذه الوسائل إلا إذا كانت زيادة التيار تم تدريجياً . أما إذا تمت فجأة وبسرعة شديدة بحيث لا تعطى للجزء الثنائى المعدن فرصة للتمدد ليقوم بفتح الدائرة فى الوقت المناسب ، فيفضل فى هذه الحالة استخدام الطريقة الكهرمغنطيسية .

(ب) وسائل القطع بالطرق الكهرمغنطيسية :

يفضل استخدام الطرق الكهرمغنطيسية فى وسائل القطع الأتوماتيكية إذا كانت زيادة التيار تم فجائياً ، حيث أن هذه الوسائل تستجيب بسرعة كبيرة لزيادة التيار فتقوم بفتح الدائرة بمجرد زيادته . وبالإضافة إلى الوسيلتين السابقتين ، توجد الوسائل الميكانيكية .

(جـ) وسائل القطع الميكانيكية (مفاتيح التلامس) :

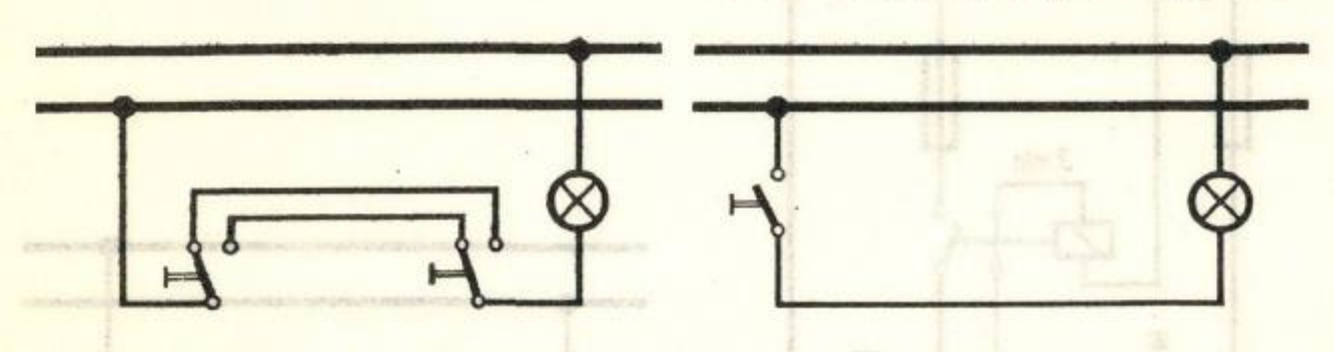
يطلق على وسائل القطع بالطرق الميكانيكية اسم « مفاتيح التلامس » ، ويستخدم فيها ذراع أو زر عند الضغط عليه يدوياً أو بأية وسيلة أوتوماتيكية يقوم بتشغيل المفتاح ، لقطع الدائرة فوراً عند حدوث عطل أو خلل . ويختار مفتاح التلامس ليتناسب مع ظروف التشغيل التى

سيستخدم فيها . وتمتاز هذه الوسائل بإمكان إعادتها إلى وضع التشغيل العادى بعد إصلاح الخلل دون حاجة إلى تغيير أى جزء فيها ، على غير ما يحدث فى المصاهر التى تحتاج إلى تغيير وصلة المصهر بعد حدوث العطل .

(٤١) طرق توصيل الطاقة الكهربائية إلى المبانى :

١ – دوائر التمديدات والتوصيلات :

تبين الأشكال من (١٢٥) إلى (١٣٠) عدة دوائر للتمديدات والتوصيلات الكهربائية المستخدمة فى الجهد المنخفض، كما تبين هذه الأشكال كيفية توصيل المفاتيح فى دوائر الإنارة أو دوائر القدرة بجهد منخفض داخل المبانى .



الشكل (١٢٥) دائرة بمفتاح قطع ووصل . يمكن قطع ووصل عناصر الدائرة (مثل المصابيح) بواسطة مفتاح تحكم .

الشكل(١٢٦) مفتاح بدائرة تشغيل بطريقين. يمكن بهذه المفاتيح قطع أو وصل عناصر الدائرة (مثل المصابيح) من نقطتين مختلفتين بواسطة مفتاحين .

٢ – التوصيلات الكهربائية إلى المبانى :

يمكن توصيل الطاقة الكهربائية بجهد منخفض إلى المبانى بواسطة خطوط هوائية محمولة على أعمدة خشبية كما فى الشكل (١٣١) أو بواسطة كبلات مدفونة تحت الأرض كما فى الشكل (١٣٢)

٣ – التوصيلات الكهربائية داخل المبانى :

يمكن تصنيف التوصيلات الكهربائية داخل غرف المبانى إلى :

– توصيلات كهربائية خاصة بالغرف الرطبة .

– توصيلات كهربائية خاصة بالغرف الخاصة .

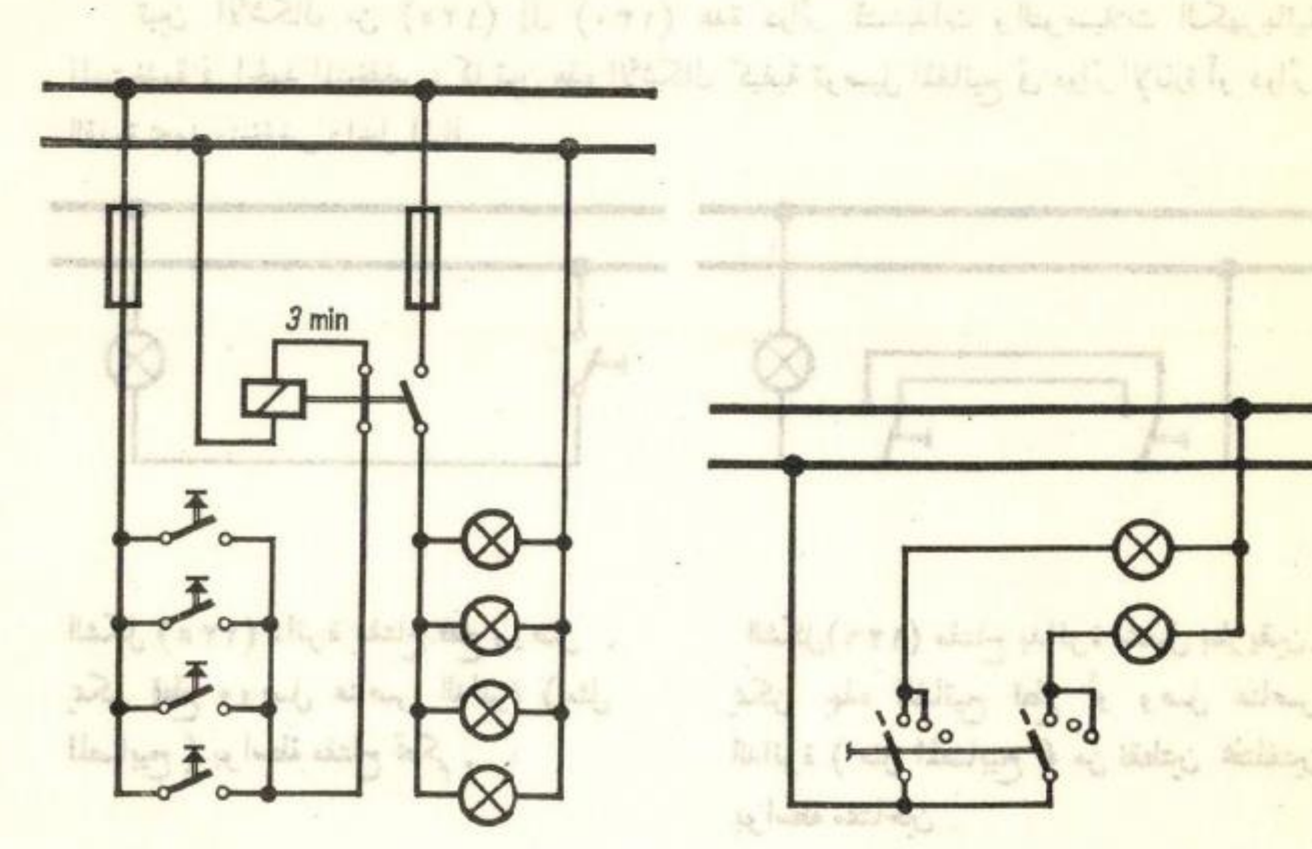
– توصيلات بأسلاك معزولة وموضوعة تحت الجبس مباشرة .

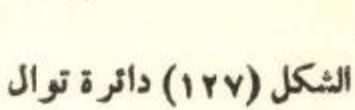
– توصيلات بأسلاك معزولة مدفونة داخل الحائط .

- توصيلات سطحية بأسلاك موضوعة على سطح الحائط .

- توصيلات بأسلاك داخل مواسير صلب أو مواسير مطاط .

وتبين الأشكال من (١٣٣) إلى (١٣٨) الطرق المختلفة المستخدمة فى تركيب التوصيلات الكهربائية داخل غرف المبانى .



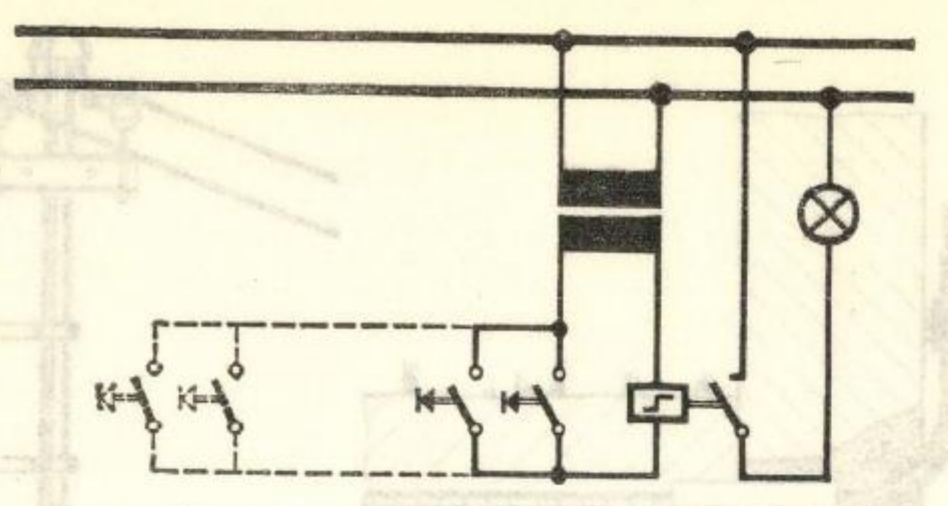


الشكل (١٢٧) دائرة توال

يمكن بهذه الدائرة قطع ووصل عناصر دائرتين معا أو عناصر كل دائرة منهما على حدة باستخدام مفتاح تحكم وحيد .

الشكل (١٢٨) مفاتيح مزودة بمرحل زمنى تستخدم فى إنارة السلم لفترة محددة

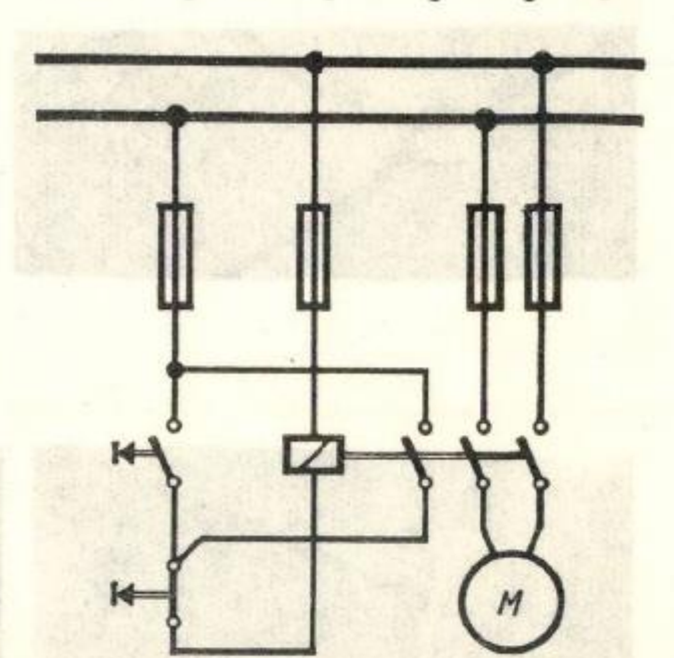
توصل المصابيح كلها على التوازى كما توصل المفاتيح أيضا على التوازى . وعند تشغيل أحد المفاتيح يستجيب له المرحل ويقوم بإنارة مصابيح السلم . ويوصل المرحل بوسيلة تعمل ميكانيكيا أو بواسطة الهواء المضغوط لفصل التيار عن المرحل بعد زمن محدد من بداية تشغيله . وعندما يتم فصل التيار عن المرحل يمكن بعد ذلك تشغيله بواسطة أى مفتاح مرة أخرى .



الشكل (١٢٩) التحكم من بعد فى التركيبات والمعدات الكهربائية

يستخدم لهذا الغرض معدات للقطع والوصل لا تعود تلقائيا إلى الوضع الأصلى بعد قيامها بعملية القطع أو بعملية الوصل ، مثل المرحلات .

ويتم تشغيل المرحل النبضى عادة من على مسافة بعيدة من هذه المعدات باستخدام جهد منخفض (٨ إلى ١٢ فلط) . وعندما يمر بالمرحل أى نبضة من نبضات تيار التحكم من هذه الأماكن البعيدة فإنها تقوم بعملية القطع أو عملية الوصل المطلوبة، ويظل على هذه الحال حتى يمر به النبضة التالية . ولإمكان إجراء عمليات التحكم من بعد . توصل المفاتيح المستخدمة فى عملية القطع والوصل للدوائر المختلفة على التوازى مع المرحل، وبذلك يمكن التحكم من بعد فى وصل أو قطع التيار عن عناصر الدوائر المتصلة على التوازى بواسطة المرحل .

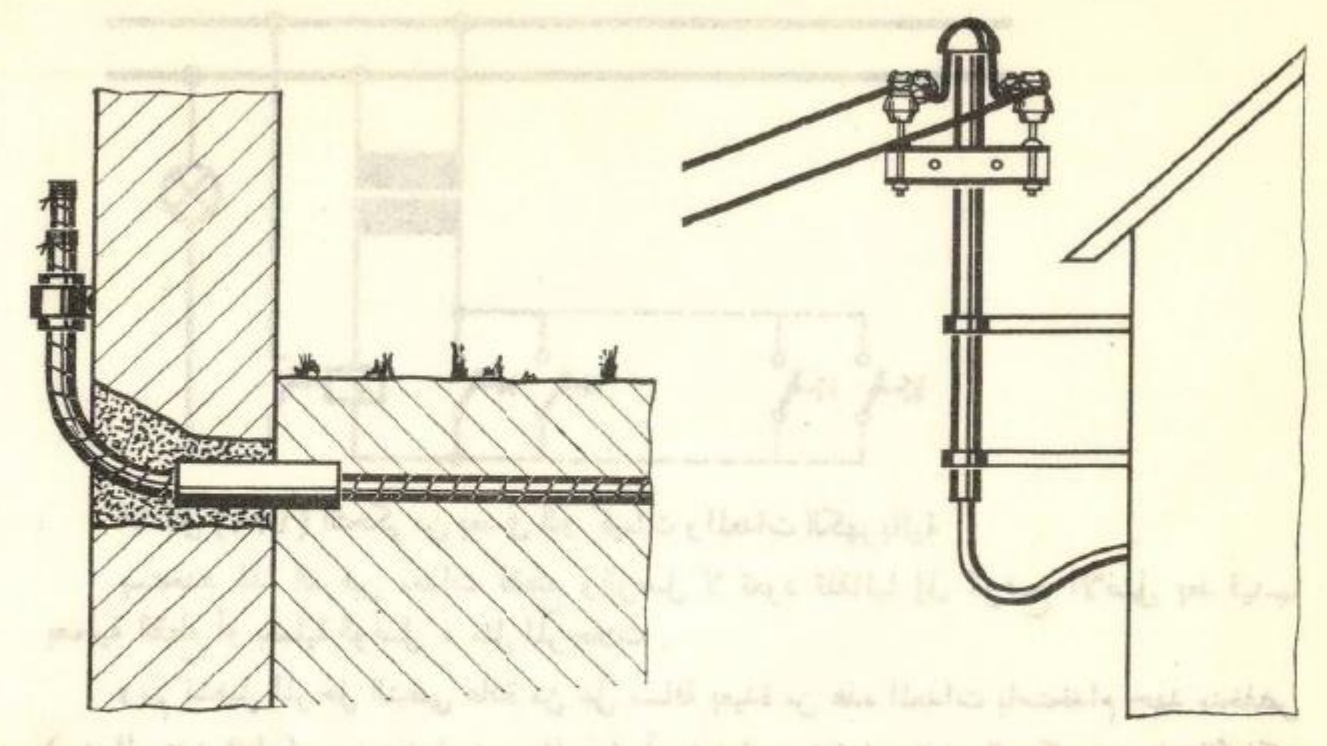


الشكل (١٣٠) معدات القطع والوصل المستخدمة فى المحركات (مفاتيح التلامس)

يستخدم فى هذا الغرض معدات القطع والوصل التى تعود تلقائيا إلى وضعها الأصلى بعد إجراء عملية القطع أو الوصل .

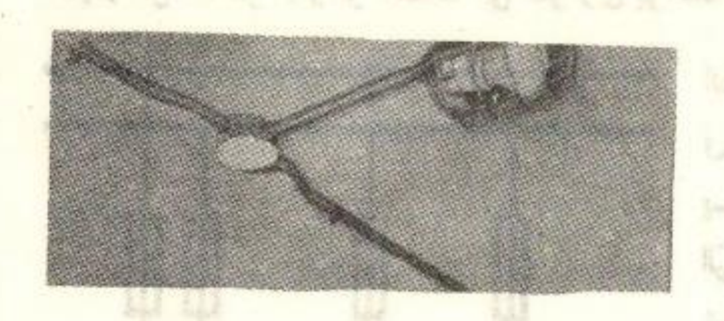
ففى الشكل عندما يتم تشغيل مفتاح المحرك بالضغط على زرار التشغيل يمر التيار عن طريق الزرار خلال ملف المفتاح ، فيتولد بالملف مجال مغنطيسى يؤدى إلى تحريك ثلاثة ملامسات : يستخدم ملامسان منها لغلق دائرة المحرك الأخير ، بينما يستخدم الملامس الثالث لتغذية الملف بالتيار اللازم بدلا من ملامسات الزر الذى يعود إلى مكانه الأصلى تلقائيا بعد عملية الضغط عليه مباشرة . وعند الضغط على زر الإيقاف ، يقطع التيار عن ملف المفتاح ، وينقطع المجال المغنطيسى ، وبذلك تنفصل الملامسات ويتوقف دوران المحرك ويعود زر الإيقاف إلى مكانه الأصلى . وعندما يراد تشغيل المحرك مرة ثانية يضغط على زر التشغيل ، وهكذا .

و تمتاز مفاتيح التلامس بإمكان تشغيلها عددا كبيرا من المرات .

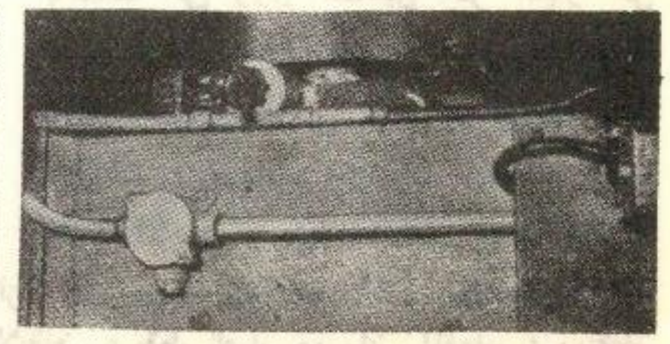


الشكل (١٣١) كيفية إمداد المنازل بالطاقة الكهربائية بواسطة الخطوط الهوائية .

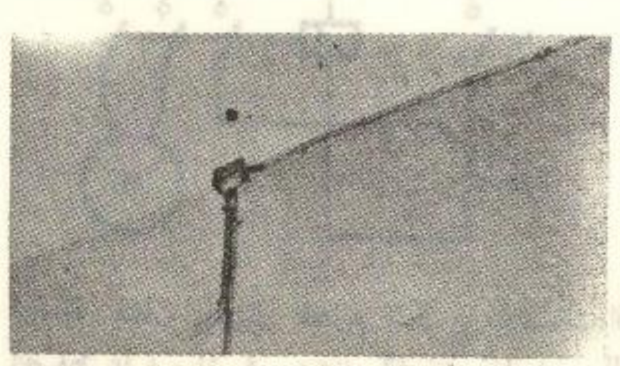
الشكل (١٣٢) كيفية إمداد المنازل بالطاقة الكهربائية بواسطة الكبلات الأرضية



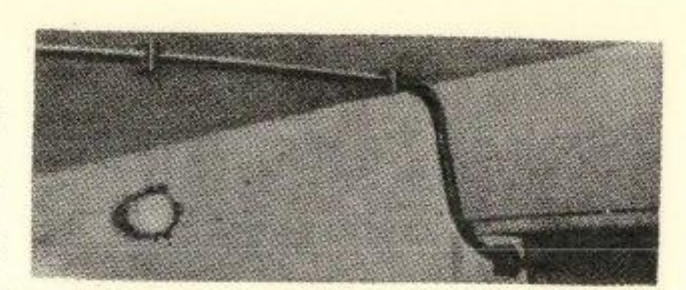
الشكل (١٣٣) كيفية وضع الموصلات فى مواسير قابلة للتحرك .



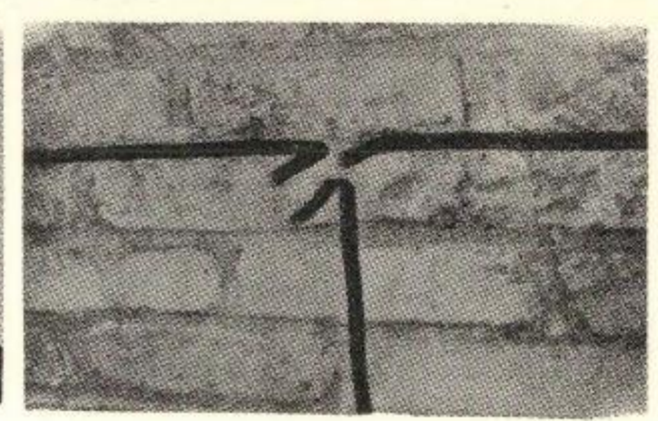
الشكل (١٣٤) وضع الموصلات فى مواسير صلب لتركيبها بالماكينات

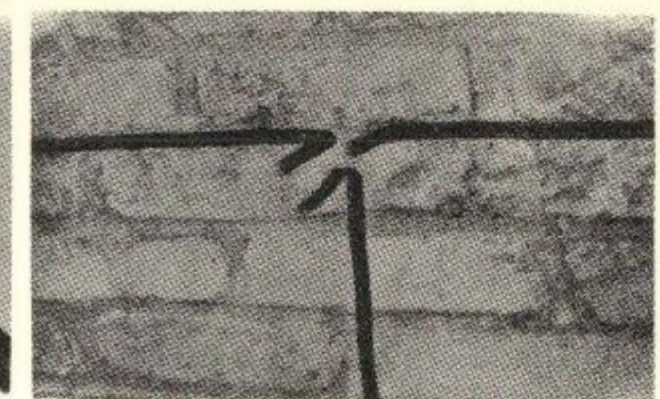


الشكل(١٣٥) وضع الموصلات داخل مواسير معدنية مبطنة من الداخل بمادة عازلة للاستخدام فى التوصيلات داخل المبانى .



الشكل (١٣٦) موصـــلات معزولة ومبطنة لحمايتها ضد تسرب المـاء إلى داخلها . تركب بواسطة مسامير شك .





الشكل (١٣٧) الاسلاك الشريطية المعزولة المستخدمة للتركيب تحت المصيص (بدون مواسير) .

الشكل (١٣٨) مواسير مطاط مفلكن وصناديق تفرع مطاطية أيضامعدة للتركيب تحت المصيص ويتم سحب الموصلات المعزولة داخل هذه المواسير بعد عملية الطلاء بالمصيص

الباب الخامس

أجهزة تحويل نوع من الطاقة الــكهربائية الى نوع آخــر من الطاقة الكهربائية

أولا : المحولات

تستخدم المحولات لتحويل التيارات والجهود المترددة بقيم معينة (الداخلة إلى ملفاتها الابتدائية) إلى تيارات وجهود مترددة بقيم أخرى (تخرج من ملفاتها الثانوية) .

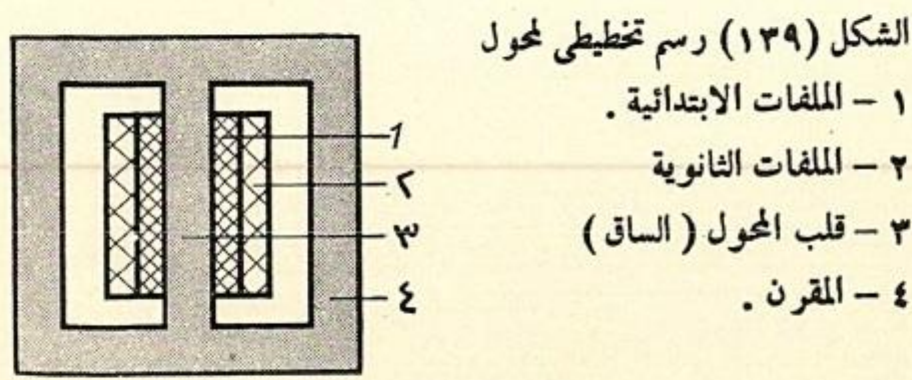
(٤٢) التعريف بأساسيات المحول :

يستخدم المحول المثالى عادة لشرح المحول العادى وكيفية عمله بطريقة مبسطة . والمحول المثالى هو محول عادى افترض فيه عدم وجود بعض حقائق أو ظواهر معينة من جانب التسهيل (مثل إهمال الفقد فى الحديد والنحاس) . ويبين الشكل(١٤٩) رسما تخطيطيا بالمحول المثالى ، وهو يتكون من ملف ابتدائى وملف ثانوى . ولتركيز الخطوط المغنطيسية فى الملفات وزيادة كفاءة المحول توضع الملفات عادة حول قلب حديدى مصنوع من رقائق من الألواح المعزولة المصنوعة من الحديد السلكونى . وتسمى هذه الألواح « ألواح الدينمو » . وتتكون الدائرة المغنطيسية للمحول من القلوب الحديدية والملفات المرتبة حولها ، ومن جزء حديدى آخر من نفس نوع الحديد يستخدم فى قفل الدائرة المغنطيسية ، وهذا الجزء الحديدى الذى لا توجد حوله أى ملفات يسمى « المقرن » .

وفيما يلى شرح لأساسيات المحول وتعريفها :

(أ) طريقة عمل المحول :

إذا سلط جهد متردد $جـ_1$ على الملفات الابتدائية فإنه يمر بها تيار متردد $ت_1$ يؤدى إلى تولد مجال مغنطيسى متردد تتجمع كل خطوطه داخل الحديد ، وتخترق الملفات الثانوية ، فتولد فيها قوة دافعة كهربائية مترددة $جـ_2$ وعند تحميل الملف الثانوى يمر به تيار متردد $ت_2$.



الشكل (١٣٩) رسم تخطيطى لمحول
١ – الملفات الابتدائية .
٢ – الملفات الثانوية
٣ – قلب المحول (الساق)
٤ – المقرن .

ومن الممكن تعريف المحول بأنه أداة تستخدم فى رفع أو خفض جهد تيار متردد بدون فقد كبير ، أى أن القدرة الداخلة فيه تساوى القدرة الخارجة تقريبا .

$$ج_١ \times ت_١ = ج_٢ \times ت_٢$$

(ب) نسبة التحويل فى المحول :

تعرف النسبة بين الجهد الثانوى $ج_٢$ إلى الجهد الابتدائى $ج_١$ بأنها «نسبة التحويل فى المحول » ، وهى تساوى النسبة بين عدد لفات الملف الثانوى $ن_٢$ إلى عدد لفات الملف الابتدائى $ن_١$

$$نسبة\ التحويل = \frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ن_٢}{ن_١}$$

وحيث أن $ج_١ \times ت_١ = ج_٢ \times ت_٢$

$$\therefore \frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ت_١}{ت_٢} \quad أى\ أن \quad \frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ت_١}{ت_٢} = \frac{ن_٢}{ن_١}$$

ويبين المثال التالى كيفية حساب الجهد الثانوى أو التيار الثانوى بمعرفة التيار الابتدائى أو الجهد الابتدائى مع معرفة نسبة التحويل .

مثـــال :

إذا كان عدد لفات الملف الابتدائى $ن_١ = ١٥٠٠$ لفة والجهد الابتدائى المسلط على هذا الملف $ج_١ = ٢٢٠$ فلط . وكان عدد لفات الملف الثانوى مساويا لعدد لفات الملف الابتدائى أى $ن_٢ = ١٥٠٠$ ، لفة فإن الجهد الذى يظهر بين أطراف الملف الثانوى $ج_٢ = ٢٢٠$ فلط أيضا

$$لأن \quad \frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ن_٢}{ن_١}$$

أما إذا كان عدد لفات الملف الثانوى = ٧٥٠ لفة ، فإن الجهد الذى يظهر بين أطراف الملف الثانوى = ١١٠ فلط حيث أن $\frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ن_٢}{ن_١}$

$$\therefore \frac{ج_٢}{٢٢٠} = \frac{٧٥٠}{١٥٠٠} \quad ج_٢ = ١١٠\ فلط$$

أى أن النسبة بين الجهد الابتدائى إلى الجهد الثانوى تتناسب تناسبا طرديا مع النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائى إلى عدد لفات الملف الثانوى ، أى $\frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ن_٢}{ن_١}$

أما بالنسبة بين شدة التيار المار فى الملف الابتدائى إلى شدة التيار المار فى الملف الثانوى فإنها تتناسب تناسبا عكسيا مع النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائى إلى عدد لفات الملف الثانوى

أى أن $\frac{ت_٢}{ت_١} = \frac{ن_١}{ن_٢}$. فإذا كانت شدة التيار المار فى الملف الابتدائى ٥ أمبير ، وكان الجهد الابتدائى ٢٢٠ فلط ، وعدد لفات الملف الابتدائى ١٠٠٠ لفة ، وعدد لفات الملف

الثانوى ٧٥٠ ، فباستخدام نسبة التحويل $\frac{جـ_٢}{جـ_١} = \frac{ت_١}{ت_٢} = \frac{ن_٢}{ن_١}$

يمكن حساب شدة التيار المار فى الملف الثانوى $ت_٢$ = ١٠ أمبير والجهد $جـ_٢$ يساوى ١١٠ فلط .

(جـ) الفقد فى المحول :

يلعب الفقد فى المحول دورا هاما فى تحديد كفاءة المحول . وينقسم الفقد فى المحول إلى قسمين :

١ – الفقد فى النحاس .

٢ – الفقد فى الحديد .

١ – الفقد فى النحاس :

ينشأ الفقد فى النحاس نتيجة لمرور التيار الابتدائى فى الملفات الابتدائية ومرور التيار الثانوى فى الملفات الثانوية .

وهو يساوى حاصل ضرب مربع التيار الابتدائى فى مقاومة الملف الابتدائى + حاصل ضرب مربع التيار الثانوى فى مقاومة الملف الثانوى .

الفقد فى النحاس = $(ت_١)^٢ \times م_١ + (ت_٢)^٢ \times م_٢$.

ويسبب هذا الفقد انخفاض الجهد عند تشغيل المحول ، كما أن الفقد يتحول إلى حرارة ، وقد تؤدى زيادة هذه الحرارة على حد معين إلى حرق ملفات المحول .

٢ – الفقد فى الحديد :

تستخدم القلوب الحديدية والمقارن لتركيز خطوط القوى المغنطيسية فى الملفات ، كما أنها تمنع تسرب أو الهروب هذه الخطوط المغنطيسية ،وبذلك تزيد من كفاءة المحول ، إلا أن هذا الحديد يتسبب فى وجود فقد يطلق عليه اسم الفقد فى الحديد .

وينقسم الفقد فى الحديد إلى قسمين :

(ا) الفقد بالتيارات الدوامية .

(ب) والفقد بالتخلف المغنطيسى .

(أ) **الفقد بالتيارات الدوامية** : يستخدم فى القلوب الحديدية وفى المقرن حديد سليكونى من أهم مميزاته مقاومته العالية للتيارات الدوامية ، وذلك لتقليل الفقد الناتج عن مرور التيارات الدوامية المتولدة بالحث بسبب تغير المجال المغنطيسى المتردد المار فى الحديد .

والفقد بالتيارات الدوامية يساوى حاصل ضرب مربع التيار الدوامى فى مقاومة الحديد السليكونى.

(ب) **الفقد بالتخلف المغنطيسى** : يتسبب مرور التيار المتردد فى ملفات المحول فى إيجاد منحنيات تمغنط فى الحديد السليكونى . ولهذه المنحنيات اتجاهان متضادان ، نتيجة لمرور التيار المتردد فى اتجاه معين وانخفاضه ثم مروره فى الاتجاه العكسى . لذلك تتغير أقطاب الجزيئات المغنطيسية كلما تغير اتجاه المغنطة . وهذه العملية تؤدى إلى فقد فى قدرة المحول يعرف باسم « الفقد بالتخلف المغنطيسى » . وترجع كلمة « التخلف » إلى أن تغير قطبية الجزيئات المغنطيسية لا يتم لحظيا بمجرد تغير اتجاه التيار ، وإنما يتخلف عنه بزمن معين .

ويتناسب الفقد بالتخلف المغنطيسى تناسبا طرديا مع عدد ذبذبات التيار المتردد فى الثانية ومع كثافة الفيض المغنطيسى .

(د) كفاءة المحول :

يحدد الفقد فى النحاس والفقد فى الحديد كفاءة المحول

لأن كفاء المحول = $\frac{\text{قدرة خرج المحول ق}_{2}}{\text{قدرة دخل المحول ق}_{1}}$

وأن الفقد الكلى فى المحول = قدرة الدخل ق$_{1}$ − قدرة الخرج ق$_{2}$

وتصل كفاءة المحولات ذات التصميم المتقن إلى ٩٩٪ .

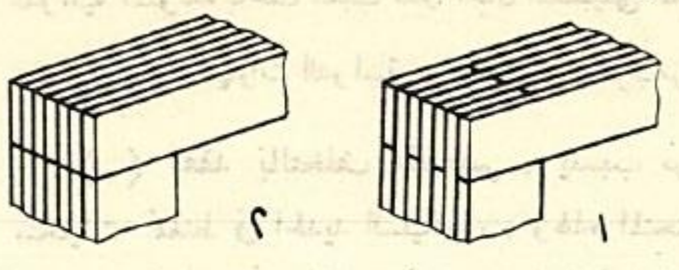
(٤٣) أنواع المحولات وطرق تصميمها :

(أ) تصميم المحول :

لتحسين أداء المحولات وزيادة كفاءتها ، تستخدم فى تصنيع المحولات أنواع معينة من رقائق الحديد السليكونى التى تصنع بأشكال مختلفة لتلائم التصميم والأداء المطلوبين للمحول (الشكلان ١٤٠ ، ١٤١) .

ويتميز الحديد السليكونى بمقاومته العالية للتيارات الدوامية لتقليل الفقد فى الحديد . ويتكون المحول فى معظم الأحيان من ملفين معزولين عن بعضهما البعض كهربائيا ، ويتكون كل منهما من عدد كبير من اللفات . وفى بعض الأحيان يزود أحد الملفين بعدة نقط توصيل بينية ، وتفيد نقط التوصيل البينية الموجودة فى الملفات الثانوية فى الحصول على جهود ثانوية بقيم مختلفة .

أما نقط التوصيل البينية الموجودة فى الملفات الابتدائية فتفيد فى استخدام المحول على جهود ابتدائية مختلفة . وتبين الأشكال ١٤٢ إلى ١٤٤ الطرق المختلفة لوضع وترتيب الملفات الابتدائية والثانوية حول القلوب المغنطيسية فى محولات القدرة .

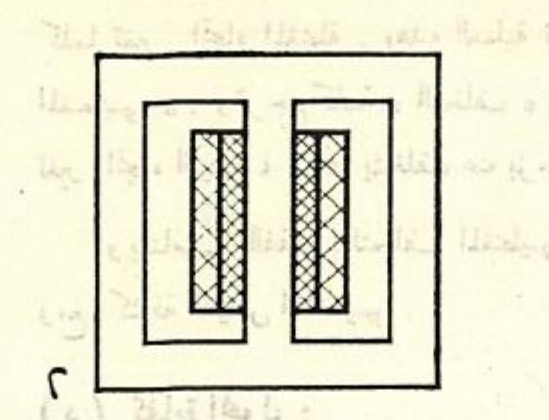


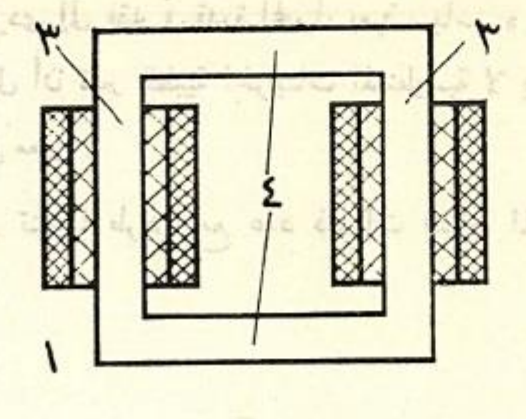
الشكل (١٤٠)

رقائق القلب الحديدى للمحول

١ – رقائق منفرجة (متداخلة)

٢ – رقائق منتظمة .





الشكل (١٤١) أشكال القلب الحديدى

١ – محول ذو قلب حديدى

٢ – محول ذو دائرة مغنطيسية محيطة

٣ – القلوب الحديدية (السيقان)

٤ – المقارن

الشكل (١٤٢)

لف عادى بشكل قرص

١ – القلب الحديدى (الساق)

٢ – الملفات الابتدائية .

٣ – الملفات الثانوية .

الشكل (١٤٣)

لف بشكل غرفة

١ – القلب الحديدى (الساق)

٢ – الملفات الابتدائية .

٣ – الملفات الثانوية .

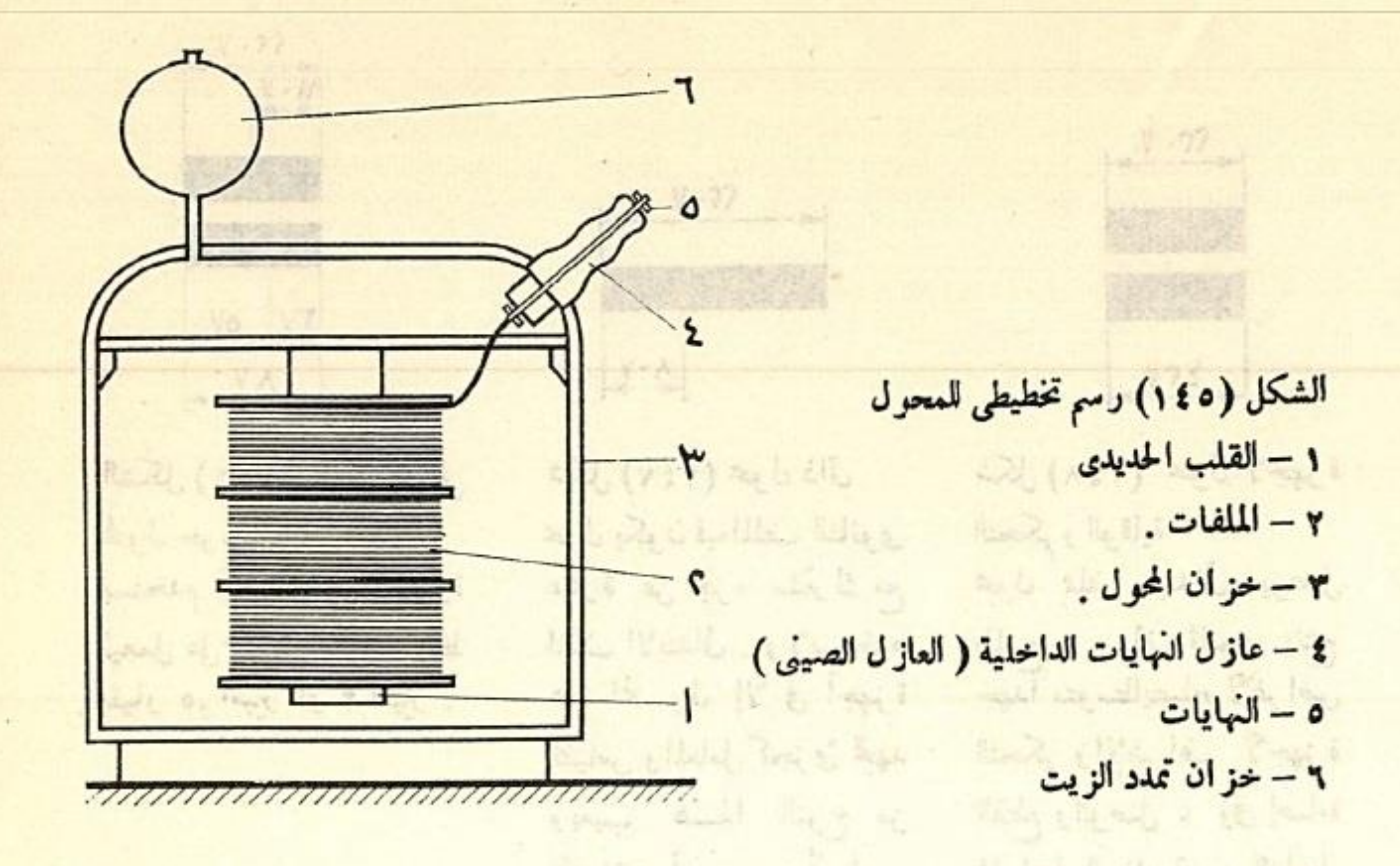
الشكل (١٤٤)

لف بشكل طيات

١ – القلب الحديدى (الساق)

٢ – الملفات الابتدائية .

٣ – الملفات الثانوية .



الشكل (١٤٥) رسم تخطيطى للمحول

١ – القلب الحديدى

٢ – الملفات .

٣ – خزان المحول .

٤ – عازل النهايات الداخلية (العازل الصينى)

٥ – النهايات

٦ – خزان تمدد الزيت

أما شكل (١٤٥) فيبين أهم الأجزاء الرئيسية للمحول .

(ب) أنواع محولات القدرة :

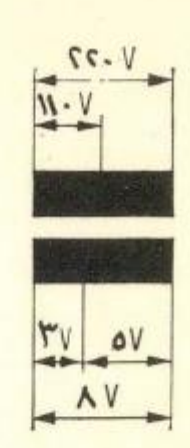
يمكن تقسيم محولات القدرة إلى :

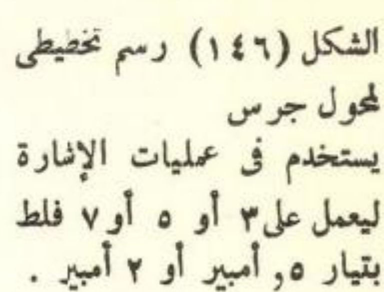
محولات وحيدة الطور : تصمم هذه المحولات بقدرات مختلفة لتلائم العمل فى نظم التوزيع بالجهد المنخفض ، كما تستخدم أحيانا فى نظم التوزيع بجهد عال . وتبين الأشكال من ١٤٦ إلى ١٥٠ بعض المحولات وحيدة الطور شائعة الاستعمال .

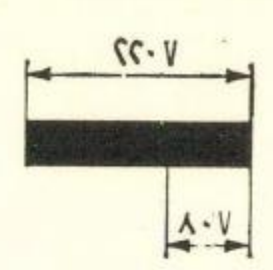
محولات ثلاثية الأطوار : تستخدم المحولات الثلاثية الأطوار ذات القدرة الكبيرة فى تغذية المصانع وكبار المستهلكين بالطاقة الكهربائية بعد تحويل جهد التغذية العالى إلى جهد منخفض . وهذا النوع من المحولات يستخدم بدلا من ثلاثة محولات وحيدة الطور .

ويكثر استعمال المحولات التى تعمل على الجهود ١٠ ، ٢٠ ، ٣٠ ك.ف فى نظم الجهد العالى . أما فى الجهد المنخفض فتستعمل عادة المحولات التى تعمل على جهد ٠,٤ ك.ف .(٤٠٠ فلط) .

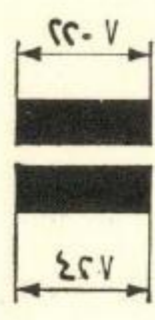
وهناك محولات ثلاثية الأطوار مصممة لكى تعمل فى نظم الجهد العالى حتى جهد ١١٠ ك.ف . أما بالنسبة للجهود التى تزيد على ذلك ، أى بالنسبة للجهود ٢٢٠ ك.ف ، ٣٨٠ ك.ف ، فتستخدم عادة ثلاثة محولات وحيدة الطور ، أى بوضع محول بكل طور من الأطوار الثلاثية . ويبين شكل (١٥١) كيفية توصيل الدوائر الكهربائية المختلفة للمحولات ثلاثية الأطوار . وتعتمد طرق اختبار وتركيب وتوصيل المحولات ، على كيفية استخدامها ونوع شبكة التغذية التى سيوصل بها المحول ، كما تعتمد أيضا على نوع الحمل ومقداره .



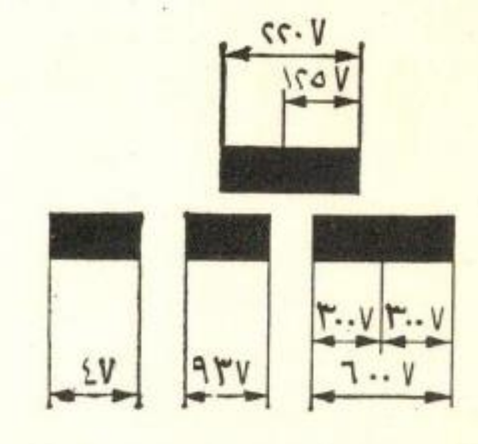

الشكل (١٤٦) رسم تخطيطى لمحول جرس
يستخدم فى عمليات الإشارة ليعمل على ٣ أو ٥ أو ٧ فلط بتيار ٥, أمبير أو ٢ أمبير .



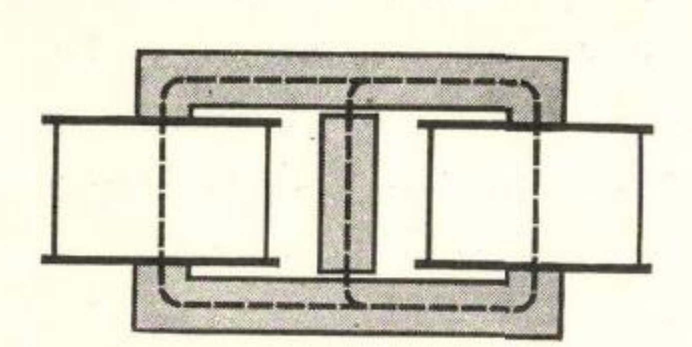
شكل (١٤٧) محول ذاتى
محول يكون فيه الملف الثانوى عبارة عن جزء مشترك مع الملف الابتدائى . ولايستخدم هذا المحـــول إلا فى أجهزة القياس والمعامل كمجزئ للجهد ويعيب هــذا النوع من المحولات أن وجود أى قصر دائرة أو خطأ أرضى فيه يؤدى إلى تسليط كل الجهـــد على الأرض .



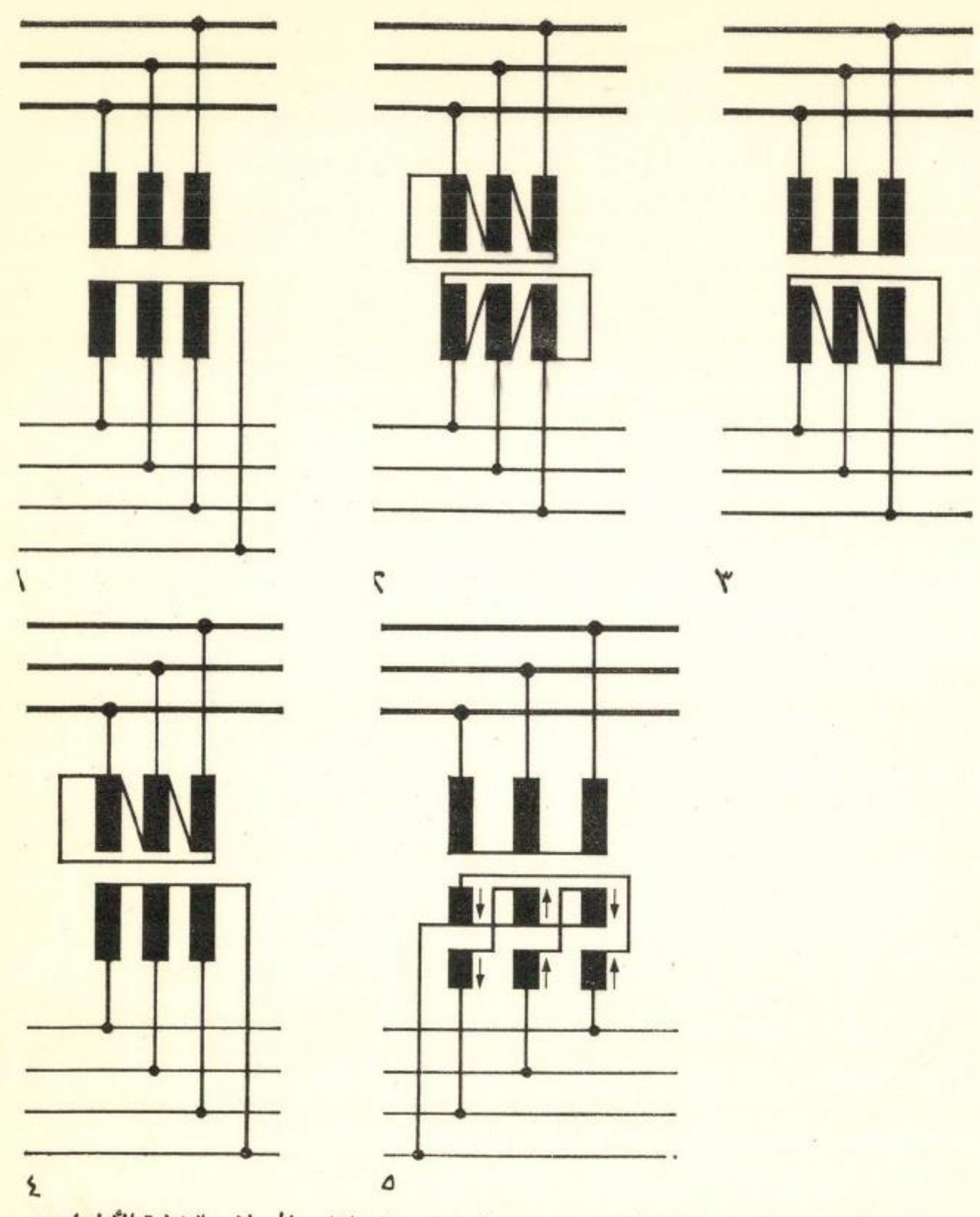
شكل (١٤٨) محول لأجهزة التحكم والوقاية
محول بملف ابتدائى يوصل بالمنبع ، وملف ثانوى ينتج جهداً متوسطايصلح لأغراض التحكم والإشراف لأجهزة القطع والوصل ، وفى إضاءة المراجل البخارية من الداخل عند صيانتها أو إصلاحها . ويمتاز هذا المحول بأن جهده الثانوى لايؤدى إلى أى خطورة من الصدمات الكهربائية على الإنسان .



الشكل (١٤٩) محول بملفات ثانوية متعددة
محول يستخدم فى أجهزة الراديو والتليفزيون . يصمم للعمل على التيار المتردد ، له ملف ابتدائى وحيد – وعـــدة ملفات ثانوية – يستخدم بعضها لتسخين الصمامات الإلكترونية وصمامات التقويم ، ويستخدم البعض الآخر فى تغذية دوائر الأنود والشبكة .



الشكل (١٥٠) محول تسرب (محول جهد عال)
محول يستخدم فى عمليات اللحـــام وفى تشغيل المصابيح الفلورسنتيه ذات الجهدالعالى ، ويمكن فيها تغيير التدفق المغنطيسى لتغيير كثافة التيار المار فى المصابيح ، ويتم ذلك بتغيير موضع المقرن بالنسبة للقلوب الحديدية القابلة للحركة .



الشكل (١٥١) مجموعة من الرسومات تبين طرق توصيل ملفات المحولات الثلاثية الأطوار .
١ – توصيل الملفات الا بتدائية و الملفات الثانوية بتوصيلة النجمة .
٢ – توصل الملفات الابتدائية و الملفات الثانوية بتوصيلة دلتا .
٣ – توصل الملفات الابتدائية بتوصيلة النجمة بينما توصل الملفات الثانوية بتوصيلة دلتا .
٤ – توصل الملفات الابتدائية بتوصيلة دلتا بينما توصل الملفات الثانوية بتوصيلة النجمة .
٥ – توصل الملفات الابتدائية بتوصيلة النجمة بينما توصل الملفات الثانوية بالتوصيلة المتعرجة .

ومن أكثر الموصلات استخداما فى المحولات توصيلة النجمة ، وتوصيلة الدلتا . ولإجراء عمليـة توصيل الملفات بطريقة سليمة تعلم النهايات بحروف لتمييزها ، وفى العادة تعلم نهايات الملفات الابتدائية بحروف كبيرة ، بينما تعلم نهايات الملفات الثانوية بحروف صغيرة .

(٤٤) تبريد المحولات ووسائل الوقاية المستخدمة فيها :

(أ) تبريد المحولات :

تبرد المحولات عادة للتخلص من الحرارة الناتجة أثناء تشغيل المحول . وتزيد كمية الحرارة الناتجة فى المحول كلما زاد الفقد فى النحاس والفقد فى الحديد . وتستخدم عادة نظم التبريد بالزيت لتبريد المحولات ذات القدرة العالية والمتوسطة ، ويتم ذلك بإحدى الطريقتين الآتيتين :

١ - طريقة التبريد المفتوحة :

توضع المحولات داخل خزان من الزيت ، وعندما ترتفع درجة حرارة المحول يتمدد الزيت ويندفع جزء منه إلى وعاء ملحق بخزان الزيت يسمى وعاء التمدد يسمح فيه بانتشار الزيت الزائد ليبرد .

٢ - طريقة التبريد المغلقة :

وهى طريقة أخرى للتبريد بالزيت ، وفيها تجرى عملية التبريد باستخدام مضخات لسحب الزيت المحيط بالمحولات ، ودفعه داخل أنابيب تبرد من الخارج بالماء، ثم تقوم المضخات بعد ذلك بدفع الزيت إلى خزان المحول مرة ثانية بعد تبريده .

(ب) وسائل وقاية المحولات المبردة بالزيت :

تزود المحولات المبردة بالزيت بوسائل لوقايتها من التلف فى الأحوال الآتية :

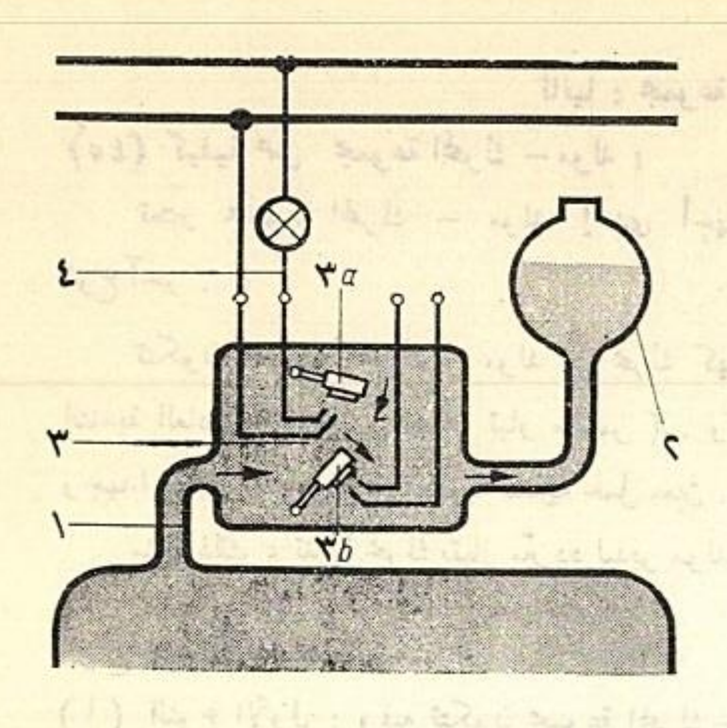
١ - زيادة درجة حرارة زيت المحول وسخونة أجزائه نتيجة لاستمرار الحمل الزائد .

٢ - وجود أخطاء كهربائية شديدة فى المحولات ، مثل تيارات قصر الدائرة . ومن أهم الوسائل لحماية المحولات « المرحل » (المرحلة) .

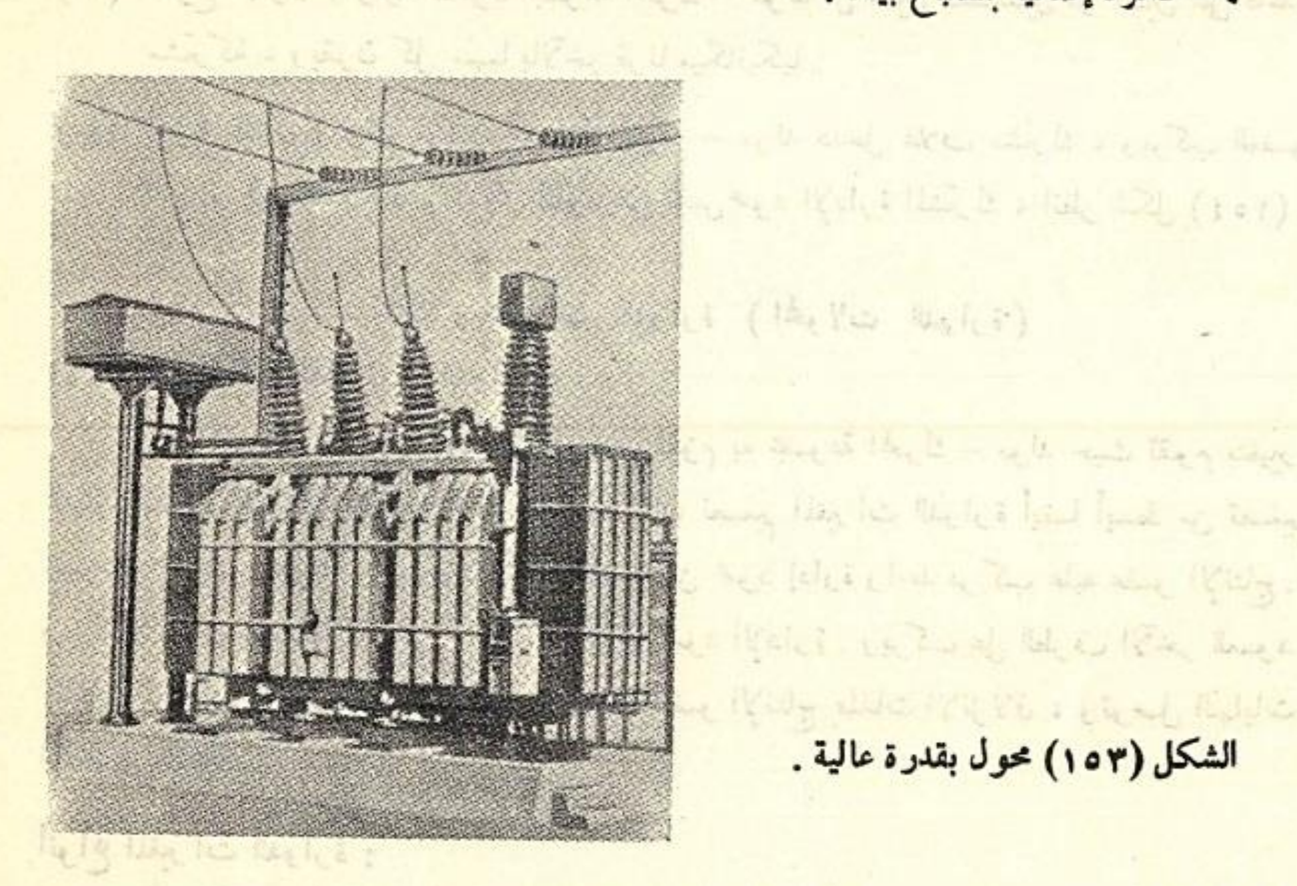
ويبين شكل (١٥٢) كيفية عمل مرحل لحماية المحول المبرد بالزيت .

كيفية عمل المرحل فى حالة استمرار الحمل الزائد أو ازدياد حرارة الزيت :

يوضع الملامسان العائمان (٣ ا ، ٣ ب) فى وعاء الزيت بطريقة معينة بحيث لا يقفلان الدائرة الكهربائية التى يوجد بها مصباح الإنذار (أو صفارة الإنذار) طوال عمل نظام التبريد بالزيت بطريقة عادية . أما فى حالة التحميل الزائد المستمر ، فإن الزيت يسخن ويتحلل بالتدريج ، وتنتج عن ذلك فقاعات تتصاعد إلى الجزء العلوى من خزان الزيت ، وتضغط هذه الفقاعات على الملامس العائم (٣ ا) فتدفعه إلى أسفل ، وبذلك تقفل دائرة مصباح الإنذار فيضئ .



الشكل (١٥٢) أساس عمل وسيلة الحماية لمحول مبرد بالزيت .
١ – أنبوبة تغذية .
٢ – خزان تمدد بالزيت .
٣ – غرفة زيت بعوامتى توصيل (٣ ا ، ٣ ب)
٤ – دائرة إضافية بمصباح بيان .



الشكل (١٥٣) محول بقدرة عالية .

كيفية عمل المرحل فى حالة وجود قصر دائرة فى المحول :

فى حالة وجود تيار قصر دائرة فى أى جزء ، أوفى أى توصيلة من توصيلات المحول مما يتسبب عنه تكون شرارة داخل المحول ، فإن هذه الشرارة تؤدى إلى تمدد الزيت فجأة فيندفع إلى وعاء التمدد ، وعندما يمتلئ الوعاء ، يضغط الزيت على الملامس العائم (٣ب) ويدفعه إلى أسفل . وينتج عن ذلك قفل الدائرة الكهربائية التى تقوم بفصل المحول أتوماتيكيا عن دوائر أو نظم تغذية الجهد العالى . ويبين شكل (١٥٣) محول قدرة عالية مزود بوسيلة من وسائل الحماية .

ثانيا : مجموعة المحرك – مولد

(٤٥) كيفية عمل مجموعة المحرك – مولد :

تعتبر مجموعة المحرك – مولد إحدى أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية من نوع معين إلى نوع آخر .

تتكون مجموعة المحرك – مولد من محرك كهربائى يغذى الطاقة الكهربائية عن طريق نظام التغذية العادى (تيار متردد أو تيار مستمر) . ويقوم المحرك بإدارة مولد مصمم ليعطى تيارا وجهدا بنفس المواصفات المطلوبة لتغذية حمل معين .

مثال ذلك ، تغذية محرك بتيار متردد ليدير مولدا يعطى تيارا مستمرا .

أنواع مجموعة المحرك – مولد :

(ا) النوع الأول : وفيه تتكون مجموعة المحرك – مولد من آلتين منفصلتين مركبتين على قاعدة مشتركة ، ويقرن كل منهما بالآخر قرنا ميكانيكيا .

(ب) النوع الثانى : وفيه ترتب مجموعة المحرك – مولد داخل غلاف مشترك ، ويركب العضو الدوار للمحرك والعضو الدوار للمولد على نفس عمود الإدارة المشترك ، انظر شكل (١٥٤) .

ثالثا : المغيرات الدوارة (المحولات الدوارة)

(٤٦) كيفية عمل المغيرات الدوارة :

تقوم المغيرات الدوارة بنفس العمل الذى تقوم به مجموعة المحرك – مولد حيث تقوم بتغيير التيار المتردد إلى تيار مستمر أوالعكس، غير أن تصميم المغيرات الدوارة أيضا أبسط من تصميم مجموعة المحرك – مولد . ويتكون المغير الدوار من عمود إدارة واحد مركب عليه عضو الإنتاج . ويركب المبدل (عضو التوحيد) على أحد طرفى عمود الإدارة . ويركب على الطرف الآخر للعمود حلقات انزلاق . وتوصل إحدى نهايات ملفات عضو الإنتاج بملفات الانزلاق ، وتوصل النهايات الأخرى بالمبدل .

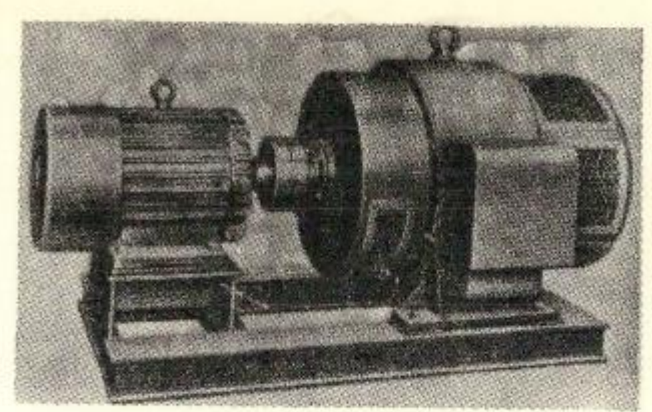
أنواع المغيرات الدوارة :

هناك نوعان من أنواع المغيرات الدوارة :

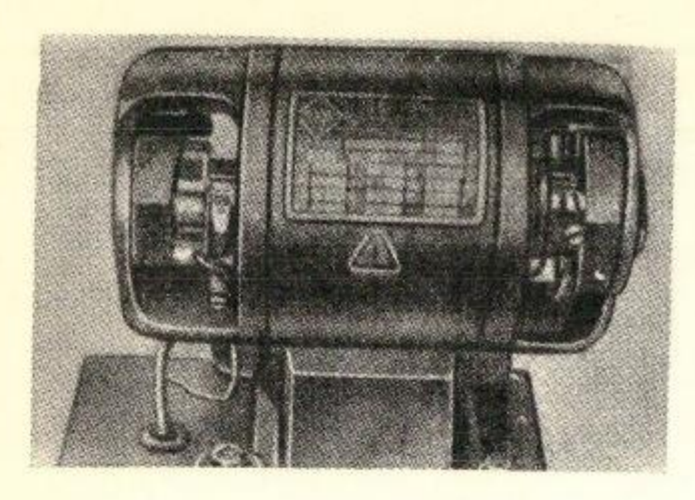
(ا) مغيرات دوارة عضو إنتاجها له ملف واحد يستخدم للدخل والخرج معا .

ويوجد بهذا الملف نقط توصيل بينية يمكن بواسطتها تحديد جهد الدخل الملائم لجهد المنبع ، كما يمكن أيضا تحديد جهد الخرج الملائم لحمل .

(ب) مغيرات دوارة لعضو إنتاجها ملفات ابتدائية (للدخل) وأخرى ثانوية (لخرج) منفصلة عن بعضها البعض كهربائيا .



الشكل (١٥٤) مجموعة محرك – مولد على قاعدة مشتركة .



الشكل (١٥٥) مغير تيار بعضو دوار .

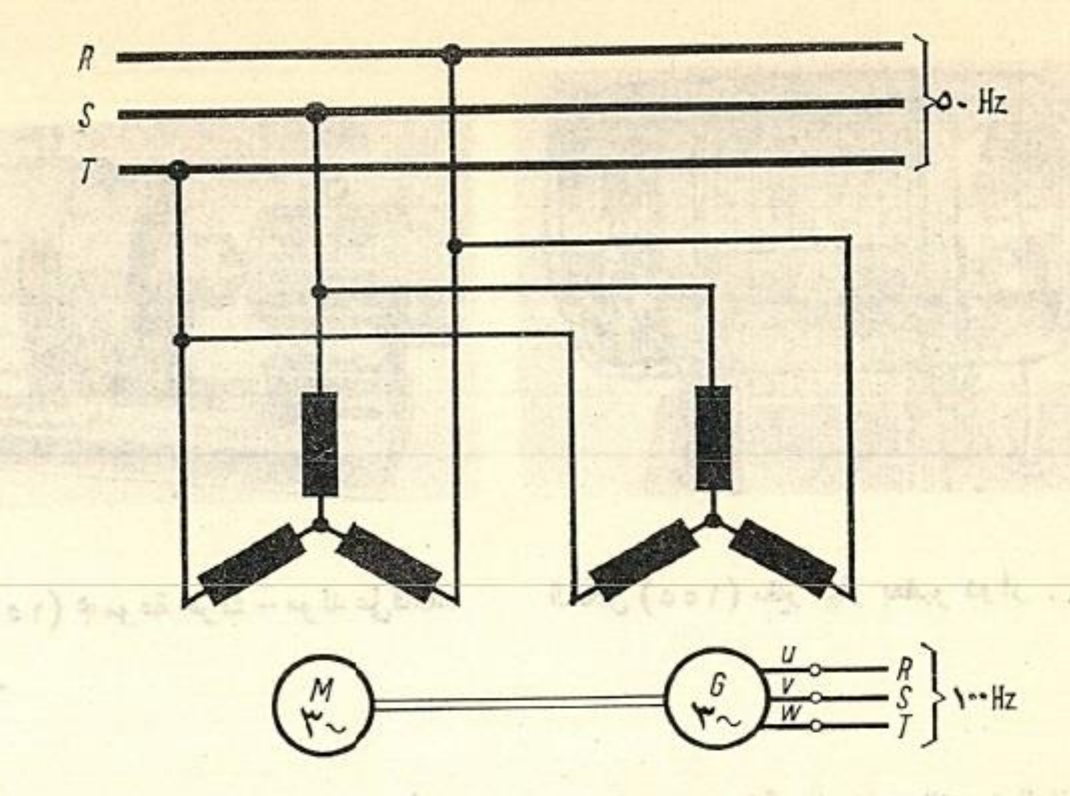
ومن عيوب هذه المغيرات الدوارة أنها لا تستخدم فى تغذية الأحمال ذات القدرة العالية ، حيث أن ملفاتها الثانوية غير قادرة على تغذية هذه الأحمال الكبيرة بجهود ثابتة . ويلزم فى مثل هذه الأحوال توصيل الملفات الثانوية للمغيرات الدوارة بمحول توافقى (أى يعمل على جعل الجهد ثابتا كلما أمكن) ، ليقوم بتغذية الأحمال بالجهود القياسية الثابتة المطلوبة . ويبين شكل (١٥٥) مغيرا دوارا من هذا النوع يستخدم فى عمليات الإشارة والإنذار .

رابعا – مغيرات التردد

(٤٧) كيفية عمل مغيرات التردد :

تستخدم مغيرات التردد فى توليد جهد له تردد يختلف عن تردد المنبع . فقد يكون تردد المنبع غير ملائم للادارة بسرعة دوران عالية تتناسب مع طبيعة الحمل . فمن المعروف أن سرعة دوران المحركات تتناسب تناسبا طرديا مع تردد الجهد الذى يغذيها ، كما أنها تتناسب تناسبا عكسيا مع عدد ازواج أقطابها . وعليه فإن أقصى سرعة دوران للمحركات الحثية لا يتعدى ٣٠٠٠ لفة / فى الدقيقة ، وذلك فى حالة تغذيتها بجهد له تردد ٥٠ ذبذبة فى الثانية . ولما كان هناك الكثير من عمليات التشغيل التى تتطلب سرعة دوران عالية لا تقل عن ٤٠٠٠ أو ٥٠٠٠ لفة فى الدقيقة مثل أعمال قطع الخشب وغيرها . لذلك تستخدم مغيرات التردد فى تزويد مثل هذه المحركات بجهد له تردد يزيد على ٥٠ ذبذبة فى الثانية حتى يمكن رفع الحد الأقصى لسرعة دوران المحركات إلى الحد المطلوب .

وتتركب مغيرات التردد عادة من مجموعة محرك حثى ثلاثى الأطوار ومولد حثى ثلاثى الأطوار أيضا . ويغذى المحرك والمولد بجهد له تردد ٥٠ ذبذبة فى الثانية .



الشكل (١٥٦) أساس عمل مغير التردد .

ونتيجة لتغذية العضو الساكن للمولد بجهد له تردد ٥٠ ذبذبة فإنه يتولد أيضاً بعضوه الدوار جهد دوار بتردد ٥٠ ذبذبة فى الثانية (عندما يكون العضو الدوار ساكناً) أما عندما يقوم المحرك بإدارة العضو الدوار للمولد بسرعة ٣٠٠٠ لفة فى لدقيقة وفى اتجاه عكس اتجاه دوران المجال الدوار الناتج فيه بالحث ، فإننا نحصل من المولد على جهد له تردد مساو لمجموع الترددين . ويبين شكل (١٥٦) أساس عمل مغير التردد .

خامسا : المقومات

(٤٨) أنواع المقومات وطريقة عملها :

سبق أن ذكرنا أن المغيرات الدوارة تستخدم لتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر ولكن القدرة الكهربائية المحولة بهذه الطريقة تكون صغيرة نسبياً . لذلك تستخدم المقومات لتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر ولكن بقدرات كبيرة .

وتقسم المقومات إلى :

(ا) مقومات ذات ملامسات ميكانيكية .

(ب) مقومات معدنية أو مقومات شبه موصلة .

(ج) مقومات بالتفريغ الغازى أو المقومات الصمامية .

(٤٩) المقومات ذات الملامسات الميكانيكية :

يستخدم هذا النوع من المقومات لتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر، والعكس. وتتركب هذه المقومات (ذات الملامسات الميكانيكية) فى أبسط صورها من محرك له عمود إدارة لا مركزى يدور بسرعة ثابتة . يقوم هذا المحرك بفتح وقفل الملامسات الميكانيكية بطريقة معينة وبتوقيت مضبوط ، بحيث يسمح فقط للنصف الموجب من موجة التيار المتردد بالمرور فى الدائرة عند قفل الملامسات ، فى حين يمنع مرور النصف السالب . ولمنع حدوث أية شرارة أثناء عملية فتح الملامسات تستخدم عدة وسائل أهمها توصيل ملفات ذات ممانعة عالية على التوالى بهذه الملامسات ، كما يوصل على التوازى بهذه الملفات مكثفات ذات مقننات مناسبة (لمنع الشوشرة) . وتجب العناية باختيار لحظة فتح وقفل الملامسات بحيث يتم ذلك عند اللحظة التى تكون فيها قيمة التيار صفراً حتى لا تحدث الشرارة . ويكثر استخدام المقومات ذات الملامسات الميكانيكية فى عمليات التحليل الإلكتروليتى وعمليات المغنطة .

(٥٠) المقومات شبه الموصلة :

أمكن من زمن طويل معرفة الخاصية التى تتميز بها المواد شبه الموصلة، وهى السماح للتيار الكهربائى بالمرور خلالها فى اتجاه معين ، ومقاومتها الشديدة له عند مروره فى الاتجاه المضاد . وقد استخدمت هذه المواد بكثرة فى عملية تقويم التيار المتردد لتحويله إلى تيار مستمر . وازدادت أهمية هذه المواد وخاصة فى مجال هندسة القوى الكهربائية ، بعد اكتشاف المقومات المعدنية شبه الموصلة المصنوعة من الجرمانيوم والسيليكون . ومازالت المقومات المعدنية المصنوعة من السيلينيوم ، والمقومات المعدنية المصنوعة من أكسيد النحاسوز ، مستعملة بكثرة فى عملية تقويم التيار المتردد ، وتحويله إلى تيار مستمر . وتستخدم هذه المقومات عادة فى تغذية أجهزة القياس ، ومعدات شحن المراكم ، وأجهزة الراديو ، والتليفزيون ، والتليفون ، وغيرها من الأجهزة المختلفة . وفيما يلى وصف موجز لطريقة عمل المقومات شبه الموصلة .

طريقة التوصيل فى المقومات شبه الموصلة :

لشرح أساس عملية التقويم باستخدام المواد شبه الموصلة ، يمكن أن نأخذ مادة الجرمانيوم التى تمثل لهذه المواد شبه الموصلة .

من المعروف أن مادة الجرمانيوم لها تكوين بلورى خاص رباعى التكافؤ (به أربعة إلكترونات للربط) وأن مقاومتها النوعية عند درجة الصفر المطلق (— ٢٧٣°م) عالية جداً (لها قيمة لا نهائية) . وتقل مقاومة الجرمانيوم كلما ارتفعت درجة حرارته ، حيث أن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من قابليته للتوصيل الكهربائى نتيجة لما يسمى بالإثارة الحرارية الذاتية التى تدفع إلكترونات الجرمانيوم للحركة . وحركة الإلكترونات الجرمانيوم أقل بكثير من حركة الإلكترونات الحرة فى المعادن .

الشكل (١٥٧) رسم تخطيطى يمثل مقوما شبه موصل
١ – بلورات من النوع N السالب التوصيل .
٢ – بلورات من النوع P الموجب التوصيل .
٣ – السطح الفاصل
٤ – الطبقة الفاصلة

فإذا حدثت إزاحة لأحد الإلكترونات فى منطقة أو جزء صغير من المادة شبه الموصلة ، فإن الإلكترونات تقل فى هذا الجزء ويصبح التركيب البلورى لهذه المادة فى ذلك الجزء مكوناً من ثقوب مكان الإلكترونات التى تركتها ، وتصبح لهذه الثقوب شحنة موجبة . وحيث أن المادة لا يمكن أن تبقى على هذه الحال ، أى أنه لا بد أن تحدث عملية تعادل للشحنات ، لذلك نجد أن حركة الإلكترونات (الشحنات السالبة) فى هذه المواد تأخذ اتجاهاً وحيداً منفصلا ، فى حين تتحرك الثقوب (الشحنات الموجبة) فى الاتجاه المضاد لحركة الإلكترونات . وعلى ذلك تنقسم طبيعة التوصيل داخل المادة شبه الموصلة إلى نوعين : الأول ينتج من حركة الإلكترونات فى الاتجاه المفضل ، ويطلق عليه التوصيل الإلكترونى أو التوصيل السالب . والثانى ينتج من حركة الثقوب فى الاتجاه المضاد،ويطلق عليه التوصيل بالثقوب أو التوصيل الموجب . وهذان النوعان من التوصيل لا فائدة لهما من ناحية الاستخدام العملية ، لأن حدوثهما يتم داخل مادة الجرمانيوم . وحيث أنهما متساويان فى القيمة ومتضادان فى الاتجاه ، فإن المادة تبدو وكأنها متعادلة من الناحية الكهربائية . وعلى ذلك فإن تغير المقاومة النوعية للمادة شبه الموصلة عند ارتفاع درجة حرارتها يرجع إلى هذين النوعين من التوصيل .

ومن الممكن تغيير ظاهرة تعادل الشحنتين السالبة والموجبة فى المادة شبه الموصلة بإضافة كية صغيرة مضبوطة تماماً من مواد أخرى يطلق عليها اسم « شوائب » مثل الجاليوم والأنتيمون . فإذا أضيفت ذرة جاليوم ثلاثية التكافؤ بها ثلاث ذرات ترابط إلى الجرمانيوم الرباعى التكافؤ ، فإن هذا يؤدى إلى زيادة كثافة التوصيل الموجب فى الجرمانيوم عن كثافة التوصيل السالب . وتعرف المادة شبه الموصلة فى هذه الحالة بأنها مادة موجبة التوصيل من النوع (ب) (P) أما إذا أضيفت ذرة خماسية التكافؤ من مادة الأنتيمون إلى الجرمانيوم مكان ذرة الجاليوم ، فإن ذرة الأنتيمون تقوم بعملية « الدفع الإلكترونى » ، أو زيادة كثافة التوصيل السالب ، وبذلك ينقلب الجرمانيوم من حالة التوصيل الموجب « ب » (P) إلى حالة التوصيل السالب ، وتعرف المادة شبه الموصلة فى هذه الحالة بأنها مادة سالبة التوصيل من النوع « ن » (N) .

ويبين شكل (١٥٧) كيف تم عملية السماح للالكترونت بالمرور وكيف تم عملية إيقافها . فإذا كان لدينا مادة شبه موصلة مثل الجرمانيوم لها تكوين بلورى رباعى التكافؤ وقسمت

إلى جزءين أضيف إلى أحد الجزءين ذرة جاليوم ثلاثية التكافؤ وأضيف إلى الجزء الآخر ذرة أنتيمون خماسية التكافؤ فإن عملية التوصيل داخل المادة شبه الموصلة تصبح كالآتى :

يقوم الجزء الذى يحتوى على ذرة الجاليوم بمنع مرور الإلكترونات فى هذا الجزء لأنه أصبح موجب التوصيل من النوع « ب » نظراً لوجود ذرة ناقصة (حيث أن بها ثلاث ذرات ترابط فقط)، بينما يقوم الجزء الآخر الذى يوجد به ذرة الأنتيمون بالسماح بمرور الإلكترونات فى هذا الجزء، لأنه سالب التوصيل من النوع « ن » لوجود ذرة زائدة (حيث أن بها خمسة ذرات ترابط)، أما المنطقة الواقعة بين الجزء السالب التوصيل « ن » والجزء الموجب التوصيل « ب » فتستمر فيها عملية خروج الإلكترونات من الجزء « ن » إلى الجزء « ب » ، كما يتم فيها أيضاً خروج شحنات موجبة (ثقوب) من الجزء الموجب « ب » إلى الجزء السالب « ن » حتى تتكون منطقة متعادلة الشحنة لا يوجد بها أى شحنات سالبة أو موجبة ، تسمى المنطقة الفاصلة ، وأما الخط الذى يفصل بين الجزءين « ب » ، « ن » فيسمى الخط الحاجز .

وعندما توضع مثل هذه المادة فى دائرة تيار مستمر ، ويوصل القطب الموجب للتيار المستمر بالجزء الذى يوجد به بلورات من النوع « ن » (السالب التوصيل) فإن الإلكترونات الموجودة فى هذا الجزء تمر فوراً إلى الجزء « ب » كما أن إلكترونات التيار المستمر تمر أيضاً بسهولة إلى الجزء « ب » حتى تملأ الثقوب (أى حتى تتعادل الشحنة الموجبة الموجودة بالجزء « ب » وبذلك يستمر مرور التيار فى هذا الاتجاه) .

أما عند عكس عملية التوصيل بحيث يوصل القطب السالب بالجزء « ن » (السالب التوصيل) مكان القطب الموجب ، فإن مرور الإلكترونات يتوقف فوراً وتصبح المادة غير موصلة .

وعلى ذلك إذا أدخل المقوم شبه الموصل فى دائرة تيار متردد وتم توصيله بالكيفية السابقة فلا يمر التيار إلا فى أحد نصفى الدورة . وبهذه الكيفية تتم عملية تقويم التيار المتردد وتحويله إلى تيار مستمر بواسطة المواد شبه الموصلة .

وفيما يلى مسح لبعض المميزات الخاصة بأنواع المقومات المعدنية والمقومات شبه الموصلة المستخدمة فى عمليات تقويم التيار المتردد لتحويله إلى تيار مستمر .

المميزات	نوع المـادة			
	أكسيد النحاسوز	السيلينيوم	الجرمانيوم	السيليكون
أقصى كثافة للتيار (بالأمبير/ سم^{2}) المـار فى المـادة شبه الموصلة				
بتهوية ذاتيـة	٠,٠٤	٠,٠٧	٤٠	٨٠
بتهوية منفصلة	٠,١٤	٠,٢	١١٠	٢٠٠
جهد التغذية (الجهد المعكوس)	٦	٢٥	١٠٠	٣٨٠
أقصى حد لدرجة حرارة التشغيل (م°)	٥٠°	٨٥°	٦٥°	١٤٠°
كفاءة الخليـة	٧٨	٩٢	٩٨,٥	٩٩,٦
المساحة النسبية المطلوبة حتى يمكن أن تعطى نفس قدرة الخرج بالنسبة لمـادة السيليكون	٣٠	١٥	٣	١

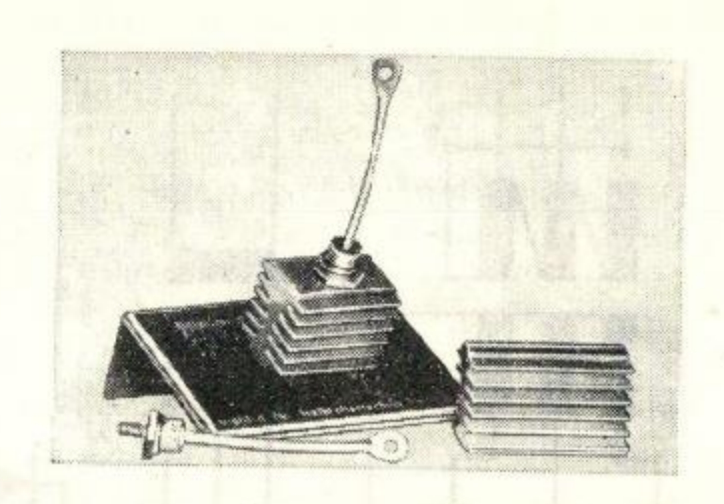
بالرجوع إلى هذا الجدول يتضح أن أهم بند يتعلق بهندسة القوى الكهربائية هو جهد التغذية (الجهد المعكوس) . حيث أن هذا الجهد يحدد عدد الخلايا شبه الموصلة التى يجب توصيلها ببعضها البعض ، لتلائم جهود التغذية المستخدمة فى هندسة القوى الكهربائية (١١٠ ، ٢٢٠ ، ٣٨٠ فلط) .

ويبين المثال التالى أهمية جهد تغذية المقوم .

مثال : عند تقويم تيار متردد بجهد ٢٢٠ فلط يلزم توصيل ٩ خلايا من المقومات السيلينيوم على التوالى لهذا الغرض ، بينما يكتفى باستخدام خلية واحدة من خلايا السيليكون ذات التهوية المنفصلة .

وتستخدم حالياً خلايا السيليكون المبينة فى الشكل (١٥٨) فى عملية التقويم المستخدمة فى التحليل الكهربائى ، وفى أفران القوس الكهربائى ، وفى تغذية المحركات المستخدمة فى الجر الكهربائى ، وفى عمليات الإثارة المستخدمة فى المولدات المتزامنة . وكمصدر لتغذية أجهزة التحكم والإشراف بالتيار المستمر .

ويطلق اسم « المقومات الثنائية » على مثل هذه المقومات التى سبق شرحها ، حيث أنها تقوم بنفس عملية التقويم التى تتم بواسطة الصمام الثنائى ، ويصنع حالياً الكثير من المقومات شبه الموصلة . وتجهز المقومات بدوائر الترشيح والتنعيم لحصول على تيار مستمر منعم أملس ذى جهد ثابت باستخدام وسائل قياسية لضبط الجهد والتيار . ويتم صنع مثل هذه المقومات حالياً بطرق اقتصادية وسليمة .

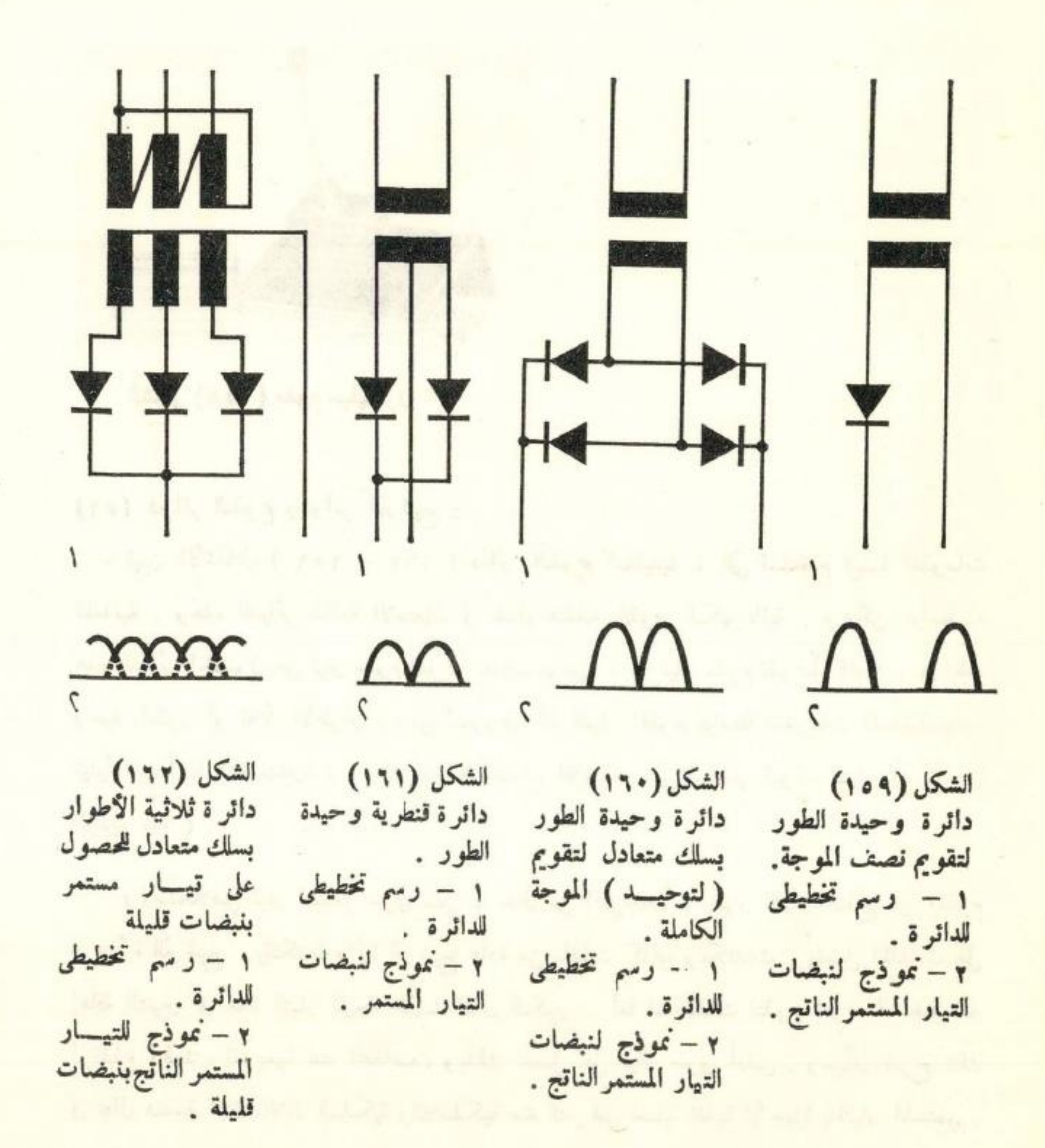


الشكل (١٥٨) مقوم سيليكونى

(٥١) دوائر التقويم ودوائر الترشيح :

تبين الأشكال (١٥٩ – ١٦٢) دوائر التقويم التقليدية ، التى تستخدم فيها المقومات المعدنية . وهذه الدوائر شائعة الاستعمال فى مجال هندسة القوى الكهربائية . ويمكن بواسطة هذه الدوائر الحصول على تيار مقوم تقويماً نصف موجى ، أو تيار مقوم تقويماً كاملا ، فى نظام وحيد الطور أو ثلاثى الأطوار . ومن المعروف أن التيار المقوم بواسطة المقومات المعدنية يعتبر تياراً نابضاً ذا شدة متغيرة ، ولذلك فهو لا يصلح للأغراض التى تستدعى ثبوت التيار (كأجهزة الراديو مثلا) .

ولاستخلاص تيار مستمر سوى منعم ، خال من التموجات ، يمرر التيار الناتج من المقوم فى دائرة الترشيح . وتتكون دائرة الترشيح عادة من ملفات كابحة ومكثفات . وتعمل الملفات على إعاقة التغيير فى شدة التيار نتيجة لحثها الذاتى الكبير . أما المكثفات فتقوم بخزن الشحنة عند ارتفاع الجهد وتفريغها عند انخفاضه، وبذلك نحصل على تيار سوى أملس . وسيأتى شرح ذلك فى مجال هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية عند التعرض لعملية تغذية الأجهزة بالتيار المستمر .



الشكل (١٥٩)
دائرة وحيدة الطور لتقويم نصف الموجة.
١ – رسم تخطيطي للدائرة .
٢ – نموذج لنبضات التيار المستمر الناتج .

الشكل (١٦٠)
دائرة وحيدة الطور بسلك متعادل لتقويم (لتوحيد) الموجة الكاملة .
١ – رسم تخطيطي للدائرة .
٢ – نموذج لنبضات التيار المستمر الناتج .

الشكل (١٦١)
دائرة قنطرية وحيدة الطور .
١ – رسم تخطيطي للدائرة .
٢ – نموذج لنبضات التيار المستمر .

الشكل (١٦٢)
دائرة ثلاثية الأطوار بسلك متعادل لحصول على تيار مستمر بنبضات قليلة
١ – رسم تخطيطي للدائرة .
٢ – نموذج للتيار المستمر الناتج بنبضات قليلة .

الباب السادس

أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية

تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية بواسطة المحركات أو المغنطيسات الرافعة .

المحركات الكهربائية

(٥٢) تصنيف المحركات :

يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية عادة بواسطة آلات دوارة يطلق عليها اسم المحركات . تغذى هذه المحركات بالطاقة الكهربائية ، ونحصل على الطاقة الميكانيكية المطلوبة نتيجة لدوران العضو الدوار للمحرك . وقد استخدمت المحركات فى بادئ الأمر بحيث يكون لكل آلة إنتاج محرك منفصل ، ثم أدخل العديد من التحسينات على أداء المحرك ، بحيث أصبح المحرك الواحد يقوم بإدارة أكثر من آلة إنتاج . وفى الوقت الحالى تستخدم عدة محركات لتقوم بإدارة أكثر من عمود تشغيل فى ماكينة إنتاج واحدة ، ويطلق عليها اسم « الماكينات ذات الأعمدة المتعددة » .

وفى هذه الماكينة يمكن أن يقوم كل محرك بإنتاج جزء يختلف عن الجزء الذى ينتجه المحرك الآخر . ولاختيار نوع من أنواع المحركات الكهربائية المختلفة ليلائم حملا معيناً له ظروف تشغيل خاصة ، يجب مراعاة الاعتبارات الآتية :

١ – نوع الجهد الذى يعمل عليه الحمل وقيمة هذا الجهد .

٢ – نوع التيار وشدته (تيار مستمر أو تيار متردد) .

٣ – نوع الحمل والقدرة اللازمة له ، والسرعة الملائمة لأدائه ونوع الخدمة المطلوبة .

ويعتبر البند الثالث أكثر البنود أهمية عند اختيار المحرك المناسب للحمل . لذلك تقسم المحركات تبعاً للمتطلبات اللازم توفرها فى المحركات لتلائم الأحمال المختلفة تبعاً لما يلى :

(ا) نوع الخدمة التى يمكن أن يعمل على أساسها المحرك .

(ب) نوع الوقاية التى يجب توافرها بالمحرك ليلائم التشغيل مع الأحمال المختلفة .

(ج) تصميم المحرك وطريقة تثبيته .

(د) سرعة المحرك وطريقة تغير السرعة بتغير الحمل .

(٥٣) تصنيف المحركات تبعا لنوع الخدمة :

يعرف نوع الخدمة للمحرك بأنه الأداء الذى يجب أن يقوم به المحرك فى زمن تشغيل معين ، ليناسب الحمل . على ألا تتعدى درجة حرارة المحرك فى نهاية فترة التشغيل الحد الأقصى لدرجة الحرارة المسموح بهـا والتى إذا زادت عنه قد تؤدى إلى تلف المحرك .

وتنقسم المحركات تبعاً لنوع الخدمة إلى :

(أ) محركات بخدمة مستمرة :

تعتبر المحركات بخدمة مستمرة أهم مجموعة المحركات على الإطلاق . وتصمم هذه المحركات بحيث لا يتعدى الحد الأقصى لارتفاع درجة حرارة المحرك إذا استمر تشغيله بصفة مستمرة الحد المسموح به ، والذى قد يؤدى إلى تلفه .

ولا يعيب هذه المحركات سوى ارتفاع ثمن تصنيعها . ويبين شكل (١٦٣) طريقة أداء أحد هذه المحركات .

(ب) محركات بخدمة لفترة قصيرة :

تصمم هذه المحركات بحيث لا يتعدى الحد الأقصى لارتفاع درجة الحرارة فيهـا عن قيمة معينة عند تشغيلها لفترة زمنية محددة . ويراعى فى هذه الحالة أن يكون طول الفترة الزمنية التى تلى عملية التشغيل ، والتى يبقى فيهـا المحرك ساكناً بدون عمل ، كافياً لتبريد المحرك أو الآلـة بحيث تعود درجة حرارتهـا إلى درجة حرارة الحجرة (باستخدام وسط مبرد أو بدونه) . ويبين شكل (١٦٤) طريقة أداء أحد هذه المحركات .

(ج) محركات تعمل بصفة مستمرة غير أن تحميلها لا يستغرق إلا فترات قصيرة فقط :

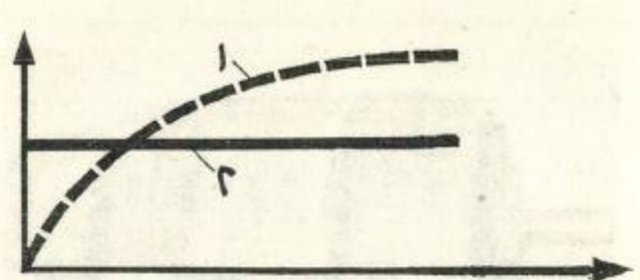
هذه المحركات يتم تحميلها لفترات قصيرة كما فى النوع السابق ، إلا أنهـا تختلف عن محركات الخدمة لفترة قصيرة ، من حيث أن هذه المحركات تستمر فى الدوران بدون حمل خلال فترات عدم التحميل .

ويبين شكل (١٦٥) طريقة أداء أحد هذه المحركات .

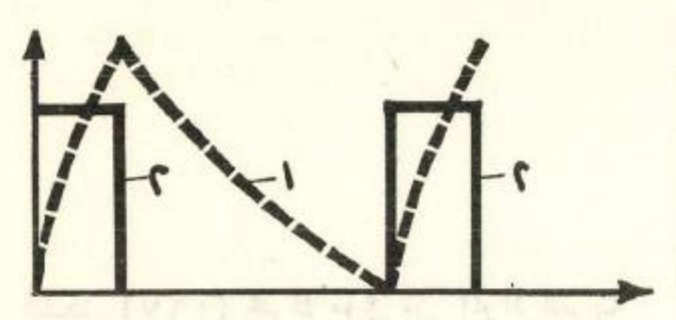
(د) محركات بخدمة متقطعة :

يتم تحميل هذه المحركات بنفس الكيفية التى تحمل بهـا محركات الخدمة لفترة قصيرة ، غير أنه فى هذه الحالة يكون طول الفترة الزمنية التى تلى فترة التشغيل ، والتى تبقى فيهـا المحركات ساكنة بدون عمل ، غير كاف لإعطاء المحركات فرصة لكى تبرد وتعود درجة حرارتهـا إلى درجة حرارة الحجرة . وينطبق على هذه المحركات نفس مميزات وخواص المحركات التى تعمل بصفة مستمرة ، إلا أن تحميلها لا يستغرق إلا فترات قصيرة فقط .

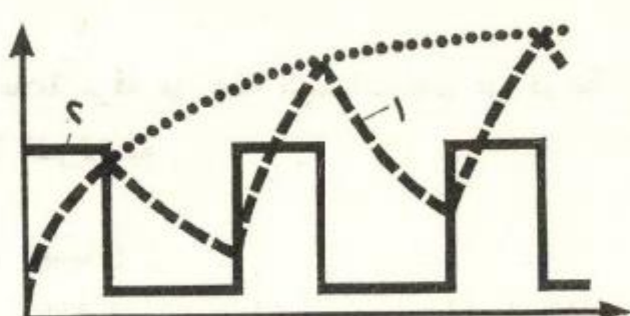
ويبين الشكل (١٦٦) طريقة أداء أحد هذه المحركات .



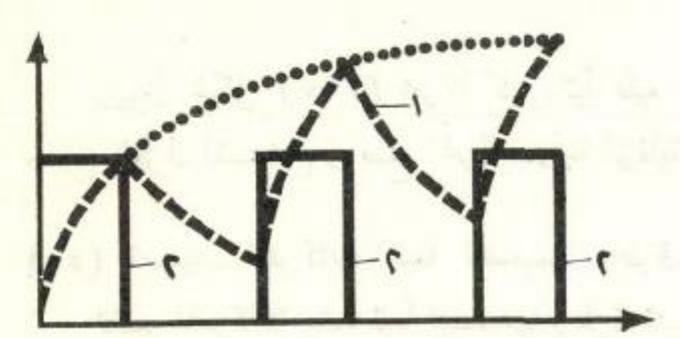
الشكل (١٦٣) تشغيل بحمل مستمر
١ – حدود ارتفاع درجة الحرارة .
٢ – تحميل مستمر .



الشكل (١٦٤) تشغيل بحمل بفترة قصيرة
١ – حدود ارتفاع درجة الحرارة .
٢ – طريقة التحميل .



الشكل (١٦٥) تشغيل مستمر مع تحميل لفترة قصيرة
١ – حدود درجة الحرارة .
٢ – طريقة التحميل .



الشكل (١٦٦) تشغيل بتحميل بطريقة متقطعة
١ – حدود درجة الحرارة .
٢ – طريقة التحميل .

(٥٤) تصنيف المحركات تبعا لدرجة الوقاية المتوفرة فيها :

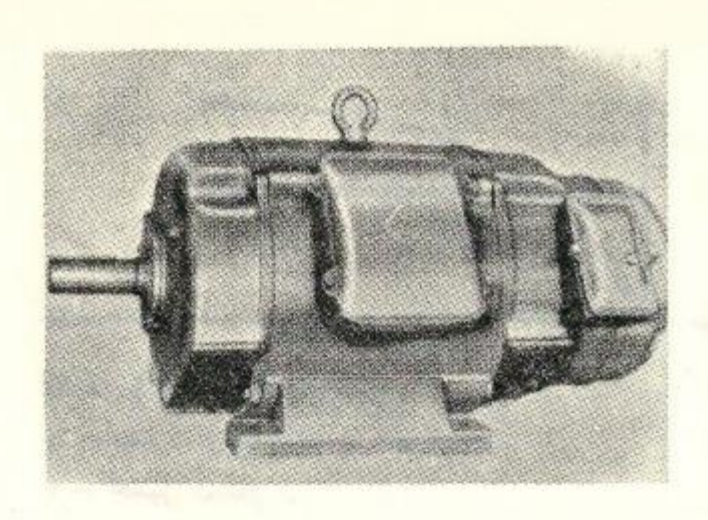
تصنف المحركات تبعاً لنوع الوقاية المتوفرة فيها كالآتى :

١ – محركات مزودة بوسائل لوقاية الأفراد من الصدمات الكهربائية .
٢ – محركات مزودة بوسائل للوقاية من دخول الماء والرطوبة إليها .
٣ – محركات مزودة بوسائل للوقاية من دخول الأتربة والمواد الغريبة إليها .

ولكل نوع من أنواع الوقاية رمز أو علامة تدل عليه ، وتوضح هذه العلامة على المحرك من الخارج .

ويبين الجدول التالى المميزات التى تتمتع بها المحركات تبعاً لدرجة الحماية المتوفرة فيها .

الوقاية من المواد الغريبة	الوقاية من الصدمات الكهربائية	الوقاية من الماء والرطوبة
تتم وقاية المحرك الذى يحمل هذا الرمز من دخول الجسيمات التى يصل قطرها حتى ٥٠ مم إلى المحرك .أو دخول الجسيمات التى يصل قطرها ٨ مم أو الغبار الخشن أو أى أتربة الأخرى .	يتم وقاية المحرك الذى يحمل هذا الرمز بحيث لا يسمح بلمس أى مساحة كبيرة منه بالأصبع أو بالأدوات أو ما شابه ذلك أو بأى وسيلة أخرى من وسائل اللمس .	يتم وقاية المحرك الذى يحمل هذا الرمز من الماء المتناثر (الطرطشة).ومن الماء المندفع ، ومن ماء الرش ، ومن الماء المضغوط (النافورى) ومن الماء عموماً

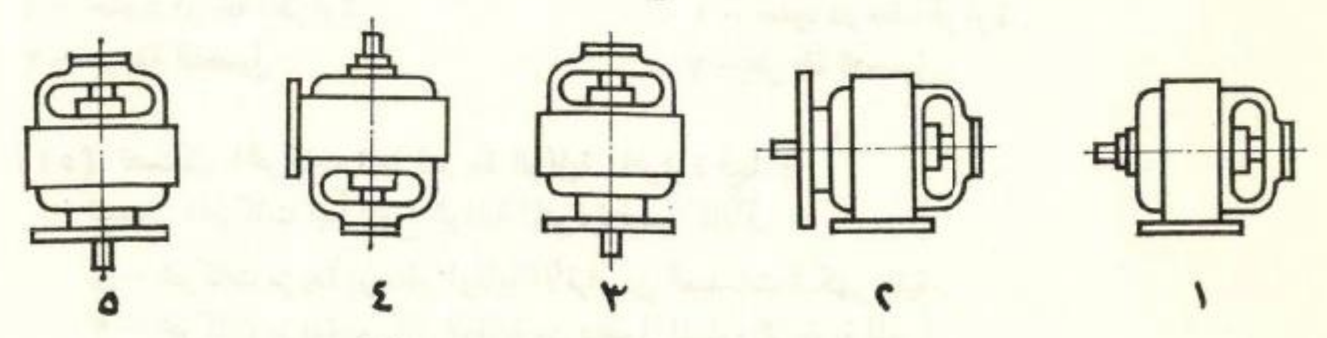


الشكل (١٦٧) محرك موقى من المواد الغريبة أو الجسيمات المتوسطة الحجم ، ومن وصول الأصابع إلى داخله

ويبين شكل (١٦٧) محركاً كهربائياً عليه علامة مرقة على غطاء النهايات تدل على درجة ونوع العزل المستخدم فى صنع المحرك ودرجة الوقاية المتوفرة فيه .

(٥٥) تصنيف المحركات تبعا لتصميمها وطرق تثبيتها :

تقسم المحركات عادة تبعاً لتصميمها وطرق تثبيتها لتناسب نوع الحمل . ويبين الجدول التالى الطرق المختلفة لكيفية تركيب وتثبيت أكثر أنواع المحركات شيوعاً والرقم المميز لكل منها .



الشكل (١٦٨) الجدول المرفق يبين خصائص كل نوع من هذه المحركات

(٥٦) تصنيف المحركات تبعا لتغير سرعتها بتغير الحمل :

تقسم المحركات تبعاً لتغير سرعتها نتيجة لزيادة أو نقص الحمل إلى :

١ – محركات ذات سرعة دوران ثابتة لا تتغير سرعتها بتغير الحمل .

٢ – محركات ذات سرعة دوران تتغير تبعاً لزيادة أو نقص الحمل ، ويطلق عليها «محركات بسرعة محكومة بالحمل» .

أولا – المحركات ذات السرعة الثابتة :

يوجد الكثير من محركات التيار المتردد ومحركات التيار المستمر ذات السرعة الثابتة التى لا تتغير بتغير الحمل . وقبل أن نتعرض لمحركات التيار المتردد بسرعة ثابتة ، يجب أولا أن نعرف ما تعنيه سرعة المجال الدوار للتيار المتردد .

التصميم	أنواع المحركات				
	١	٢	٣	٤	٥
تصميم كراسى التحميل	يحمل العضو الدوار على كرسيين من كراسى التحميل .	يحمل العضو الدوار على كرسيين من كراسى التحميل .	يحمل العضو الدوار على كرسيين من كراسى التحميل .	يحمل العضو الدوار على كرسيين من كراسى التحميل .	يحمل العضو الدوار على كرسيين من كراسى التحميل .
تصميم الاطار والغلاف	يوجد للإطار أرجل تثبيت .	يوجد للإطار أرجل تثبيت .	الإطار بدون أرجل تثبيت .	الإطار بدون أرجل تثبيت .	الإطار بدون أرجل تثبيت .
تصميم عمود الإدارة	عمود الإدارة حر الحركة من الطرفين .	عمود الإدارة حر الحركة من الطرفين .	عمود الإدارة حر الحركة من النهاية السفلى .	عمود الإدارة حر الحركة من النهاية العليا .	عمود الإدارة حر الحركة من النهاية السفلى .
التصميم العام	يمكن تركيب المحرك بواسطة أرجل التثبيت .	للمحرك ألواح وصل ملاصقة لكراسى التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأى محرك جاذبى .	للمحرك ألواح وصل ملاصقة لكراسى التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأى محرك جاذبى .	للمحرك ألواح وصل ملاصقة لكراسى التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأى محرك جاذبى .	للمحرك ألواح وصل ملاصقة لكراسى التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأى محرك جاذبى .
كيفية تثبيت المحرك	يمكن تثبيت المحرك على القاعدة أو على قضبان منزلقة .	يثبت على حوامل لإمكان تركيبها على ألواح ربط .	يمكن تثبيت المحرك على ألواح ربط سفلية .	يمكن تثبيته بواسطة ألواح ربط علوية .	يمكن تثبيته بالحائط عن طريق أرجل التثبيت .

ويتضح من شكل (١٦٨) أن توحيد الطرق المختلفة المتبعة فى تركيب المحركات يؤدى إلى تسهيل التبادلية واستخدام محرك من نوع معين مكان محرك من نوع آخر .

سرعة المجال الدوار وكيفية تولد عزم الدوران فى محركات التيار المتردد :

يمكن حساب سرعة المجال الدوار لأى محرك ، بمعرفة تردد جهد المنبع ، وعدد أزواج الأقطاب فى المحرك أو المولد ، من المعادلة الآتية :

$$ن = \frac{٦٠ \times ف}{ق}$$

حيث ف تردد المنبع ،

ق عدد أزواج الأقطاب ،

ن عدد دورات الآلـة فى الدقيقة .

ويتم توليد عزم الدوران للمحرك عند توصيل العضو الساكن بالمنبع ، حيث يتولد بالحث فى العضو الدوار جهد لـه قيمة معينة يؤدى إلى وجود مجـال مغنطيسى بالعضو الدوار .

ويتولد عزم الدوران المطلوب نتيجة لتفاعل المجال المغنطيسى الموجود فى العضو الساكن مع المجال المغنطيسى المتولد بالحث فى العضو الدوار . وكلما زادت سرعة العضو الدوار ، يقل الجهد المتولد بالحث فيه ، حتى يصل هذا الجهد إلى الصفر ، ولا تحدث هذه الحالة الأخيرة إلا إذا دار بسرعة مساوية تماماً لسرعة المجال الدوار فى العضو الساكن.وتسمى سرعة المحرك فى هذه الحالة الأخيرة السرعة المتزامنة . غير أن سرعة العضو الدوار لا يمكن أن نصل إلى هذه السرعة فى المحركات اللاتزامنية ، نتيجة لوجود قوى الاحتكاك فى كراسى التحميل. ويجب التنويه هنا بأن قيمة النقص فى سرعة دوران العضو ، الدوار عن سرعة المجال ، منسوبة إلى سرعة المجال ، تسمى « الانزلاق ». وتتراوح قيمة الانزلاق بين ٢٪ ، ٦٪ من سرعة المجال الدوار . ويقال فى هذه الحالة أن العضو الدوار يدور بسرعة لاتزامنية .

وفيما يلى جدول يبين سرعة العضو الدوار لبعض الآلات اللاتزامنية ، بالمقارنة بسرعة المجال ، عندما يكون عدد أزواج الأقطاب ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ :

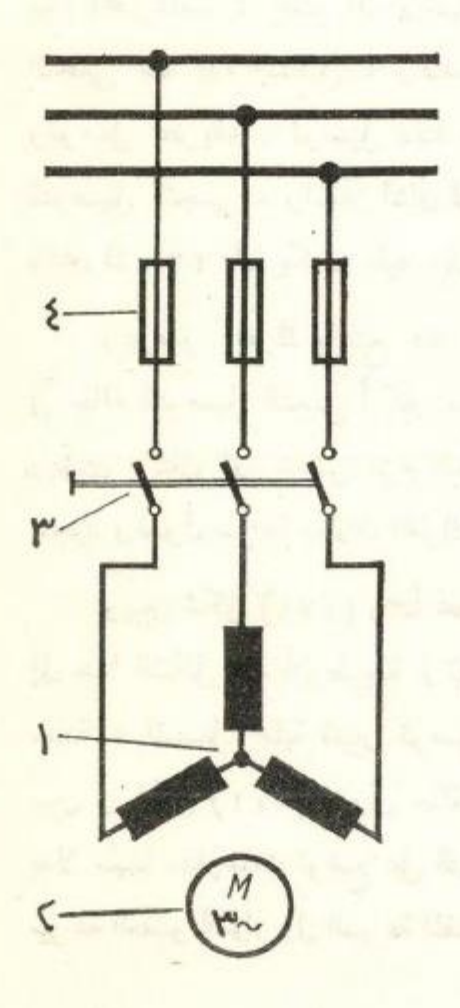
عدد أزواج الأقـطاب	١	٢	٣	٤
سرعة المجال (لفة فى الدقيقة)	٣٠٠٠	١٥٠٠	١٠٠٠	٧٥٠
السرعة المقننة للعضو الدوار (لفة فى الدقيقة)	٢٨٧٥	١٤٢٥	٩٢٥	٧٢٠

وفيما يلى شرح مبسط لأهم أنواع المحركات ذات السرعة الثابتة .

(٥٧) محركات ثلاثية الأطوار بعضو دوار على هيئة قفص سنجابى :

الشكل (١٦٩) لمحرك ثلاثى الأطوار حثى بعضو دوار على هيئة قفص سنجابى . هذا النوع من المحركات يعتبر أكثر أنواع المحركات استخداماً فى إدارة آلات الإنتاج.وتتميز هذه المحركات بتصميم

يفوق ما عداها من المحركات من حيث التحميل ، كما أنهـا لا تحتاج إلا لأقل مجهود لصيانتهـا ، هذا بالإضافة إلى أن تكاليف تصنيعها اقتصادية للغاية . ويتكون العضو الساكن من شرائح من الحديد السيليكونى توضع بهـا الملفات بطريقة معينة ، بحيث يتولد بالعضو الساكن مجال دوار بمجرد توصيل الملفات بمنبع تيار متردد . ويتكون العضو الدوار من عمود إدارة ، عليه شرائح من الصلب السيليكونى ، مجموعة مع بعضها البعض بأشكال مختلفة ، بها مجار توضع بداخلها قضبان موصلة (من الألومنيوم أو النحاس) . وتوصل نهـايات القضبان ببعضها البعض بواسطة حلقتين موصلتين لتقصير دائرة هذه القضبان كما هو مبين بالشكل (١٧٠). وينتج عزم الدوران من تفاعل المجال المغنطيسى الدوار فى العضو الساكن مع المجال المغنطيسى المتولد بالحث فى قضبان العضو الدوار . ويتم اختيار مقطع هذه القضبان الموصلة بحيث يبقى تيار بدء التشغيل أقل ما يمكن ، مع المحافظة على بقاء عزم الدوران ثابتاً عند التحميل . وتتميز هذه المحركات بعزم بدء تشغيل عال ، وبسرعة دوران ثابتة ، تعتمد على سرعة المجال الدوار . غير أنه يعيب هذه المحركات زيادة شدة تيار بدء التشغيل حتى إنه يصل فى بعض الأحيان إلى خمسة أو ستة أضعاف التيار المقنن . وقد تؤدى زيادة شدة تيار بدء التشغيل إلى تلف الملفات أو حرقها . ولذلك يفضل تقليل تيار بدء التشغيل ، كلما أمكن ذلك . وفيما يلى موجز لكيفية توصيل هذه المحركات بالمنبع عند بدء تشغيلها لتقليل تيار بدء التشغيل .



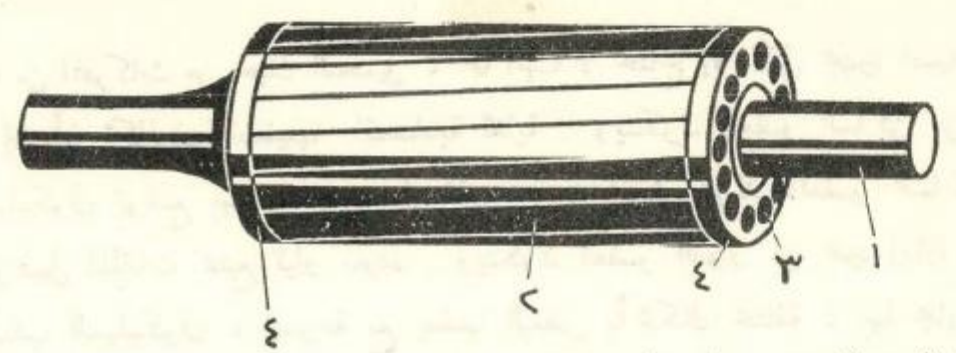
الشكل (١٦٩) دائرة توصيل محرك ثلاثى الأطوار لا متزامن بعضو دوار على هيئة قفص سنجاب .

١ – ملفات العضو الساكن .

٢ – العضو الدوار .

٣ – مفتاح تحكم ثلاثى الأقطاب .

٤ – مصاهر .



الشكل (١٧٠) عضو دوار على هيئة قفص سنجاب

١ – عمود الإدارة ٢ – الشرائح الحديدية .

٣ – القضبان الموصلة . ٤ – حلقات لتقصير دائرة القضبان الموصلة .

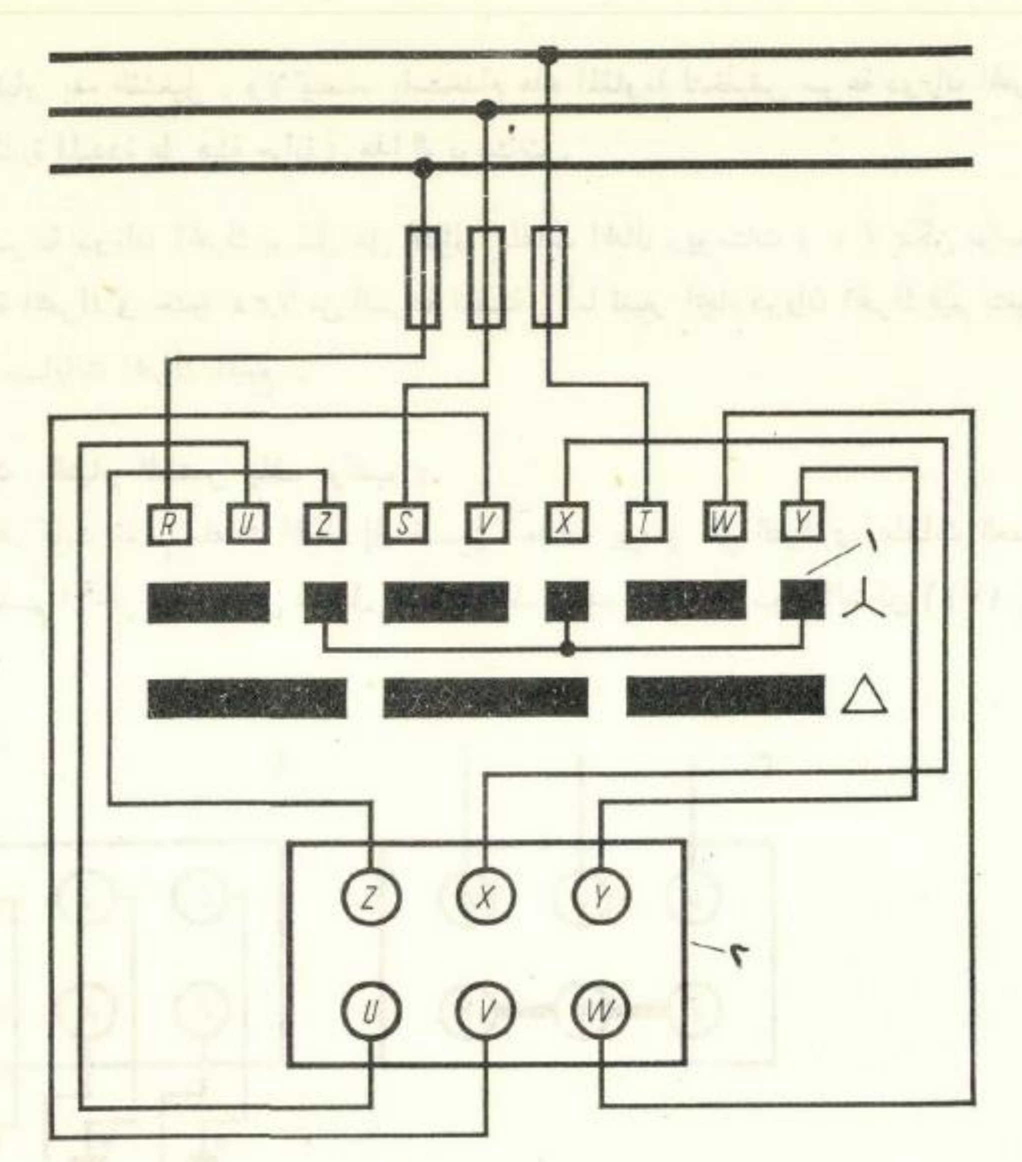
طرق توصيل المحركات الثلاثية الأطوار ذات القفص السنجابي بالمنبع عند بدء التشغيل :

المحركات التى لا تتعدى قدرتها المقننة ٣ كيلووات ، توصل مباشرة بالمنبع ، حيث أن تيار بدء التشغيل لهذه المحركات لا يتعدى ٤٨ أمبير إذا كان جهد المنبع ٣٨٠ فلط .

أما فى المحركات التى تتعدى قدرتها ٣ كيلووات ، فيفضل استخدام وسيلة مناسبة لتخفيض تيار بدء التشغيل عند توصيلها بالمنبع ، كوسيلة النجمة – دلتا مثلا . ويلاحظ فى هذه الحالة أن استخدام مثل هذه الوسائل يؤدى بالتالى إلى خفض عزم الدوران . ولتوصيل وسيلة بدء التشغيل ، النجمة – دلتا بهذه المحركات ، يجب أن ترتب ملفات هذه المحركات بحيث يمكن توصيلها بطريقة التوصيل النجمى عند بدء التشغيل ، وعندما تصل سرعة المحرك إلى السرعة المقننة يلغى التوصيل النجمى وتوصل بطريقة « توصيل دلتا » ويكتب على مثل هذه المحركات مقننان للجهد ، المقنن الأول للتوصيل النجمى ، والمقنن الثانى للتوصيل دلتا . فالمحرك ٣٨٠ فلط يكتب عليه ٣٨٠/٦٦٠ فلط ، والمحرك ٢٢٠ فلط يكتب عليه ٢٢٠/٣٨٠ فلط .

ويوصل المحرك بالمنبع عند بدء التشغيل بالتوصيل النجمى ، لأن مقاومة العضو الساكن فى حالة التوصيل النجمى أكبر منها فى حالة التوصيل دلتا . وهذا يقلل من تيار بدء التشغيل ، ويؤدى بالتالى إلى خفض عزم الدوران . ولذلك يفضل تحويل التوصيل النجمى إلى توصيل دلتا بمجرد وصول سرعة دوران المحرك إلى السرعة المقننة .

ويبين شكل (١٧١) رسماً تخطيطياً لدائرة التوصيل النجمة – دلتا لأحد المحركات . وبالرجوع إلى هذا الشكل نجد أن طريقة ترتيب الملفات للمحرك ، وكيفية ترقيم لوحة النهايات تتم بطريقة معينة ، لتسهيل عملية تغيير توصيل هذه الملفات من التوصيل النجمى إلى توصيل دلتا ، كما هو مبين فى شكل (١٧٢) . وفى حالة تعذر استخدام هذه الطريقة لبدء تشغيل بعض المحركات تستخدم بدلا منها مقاومات توضع على التوالى مع ملفات المحرك عند بدء التشغيل ، ويتم فصلها عندما تصل سرعة العضو الدوار إلى السرعة المقننة .



الشكل (١٧١) أساس عمل مفتاح التوصيل النجمة –دلتا

١ – ملامسات بشكل قناطر ٢ – علبة توصيل نهايات المحرك

ويلاحظ فى هذه الحالة عدم تحميل المحركات عند بدء تشغيلها لانخفاض عزم الدوران . ويعيب هذه الطريقة الأخيرة زيادة الفقد على هيئة حرارة مبددة فى هذه المقاومات . وتمتاز المحركات على هيئة قفص سنجابى بثبات سرعة دورانها ، ويمكن تغيير سرعتها فقط بتغيير تردد المنبع ، أو بتغيير عدد الأقطاب . أما تغيير اتجاه الدوران فيتم بتغيير تتابع توصيل الأطوار المختلفة بأطراف المحرك .

(٥٨) محركات تيار مستمر بلف على التوازى :

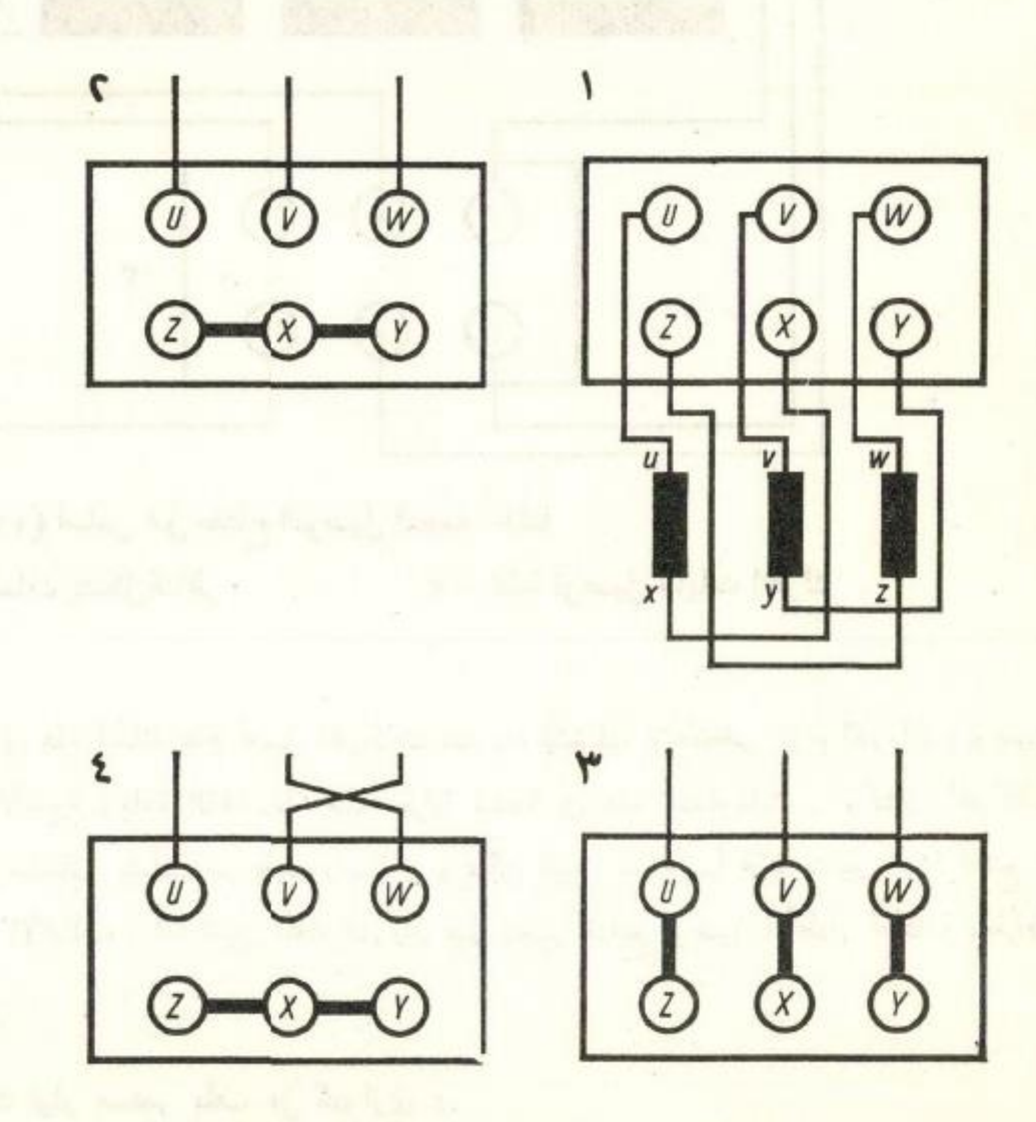
فى هذه المحركات توصل ملفات المجال على التوازى بملفات عضو الإنتاج كما هومبين بالشكل (١٧٣) . وتستخدم هذه المحركات فى إدارة آلات الإنتاج التى تحتاج لسرعة دوران ثابتة . وتوصل المحركات بالمنبع بوضع ريوستات (مقاومة متغيرة) (٣) على التوالى بملفات عضو الإنتاج

لتخفيض شدة تيار بدء التشغيل . ولا ينصح باستخدام هذه المقاومة لتخفيض سرعة دوران المحرك وذلك لزيادة القدرة المبددة على هيئة حرارة فى هذا الريوستات .

ولتغيير سرعة دوران المحرك يوصل على التوالى بملفات المجال ريوستات (٤) يمكن بواسطته التحكم فى سرعة المحرك فى حدود ٢٥٪ من السرعة المقننة . أما تغيير اتجاه دوران المحرك فيتم بتغيير طريقة توصيل نهـايات المحرك بالمنبع .

(٥٩) محركات التيار المستمر بلف مركب :

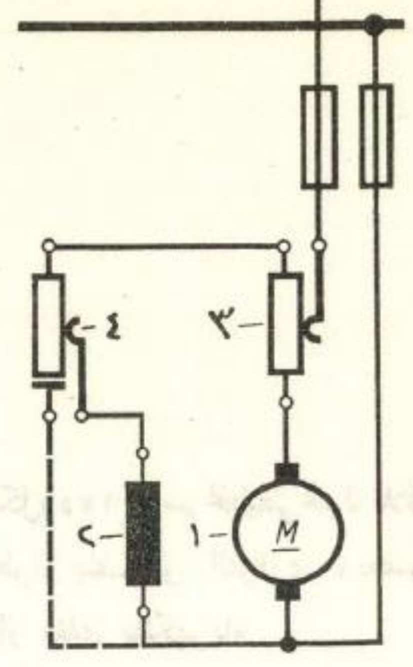
فى هذه المحركات تقسم ملفات المجال إلى قسمين أحدهما يوصل على التوازى بملفات العضو الدوار ، أما القسم الآخر فيوصل على التوالى بملفات العضو الدوار كما هو مبين بالشكل (١٧٤) .



الشكل (١٧٢) احتمالات توصيل محرك ثلاثى الأطوار لا تزامنى

١ – كيفية ترتيب نهايات الملفات . ٢ – توصيل نجمى .

٣ – توصيل دلتا . ٤ – عكس اتجاه دوران المحرك بإبدال التوصيل .



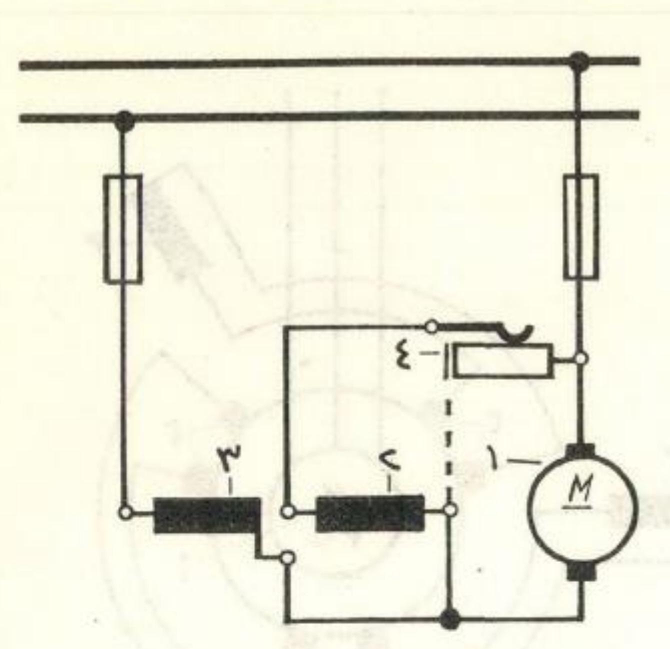
الشكل (١٧٣) رسم تخطيطى لدائرة محرك تيار مستمر بلف على التوازى .

١ – العضو الدوار .

٢ – ملفات المجال .

٣ – مبدىء التشغيل .

٤ – ريوستات المجال .



الشكل (١٧٤) رسم تخطيطى لدائرة محرك تيار مستمر بلف مركب .

١ – العضو الدوار

٢ – الملفات الموصلة على التوازى .

٣ – الملفات الموصلة على التوالى .

٤ – ريوستات المجال لتنظيم السرعة .

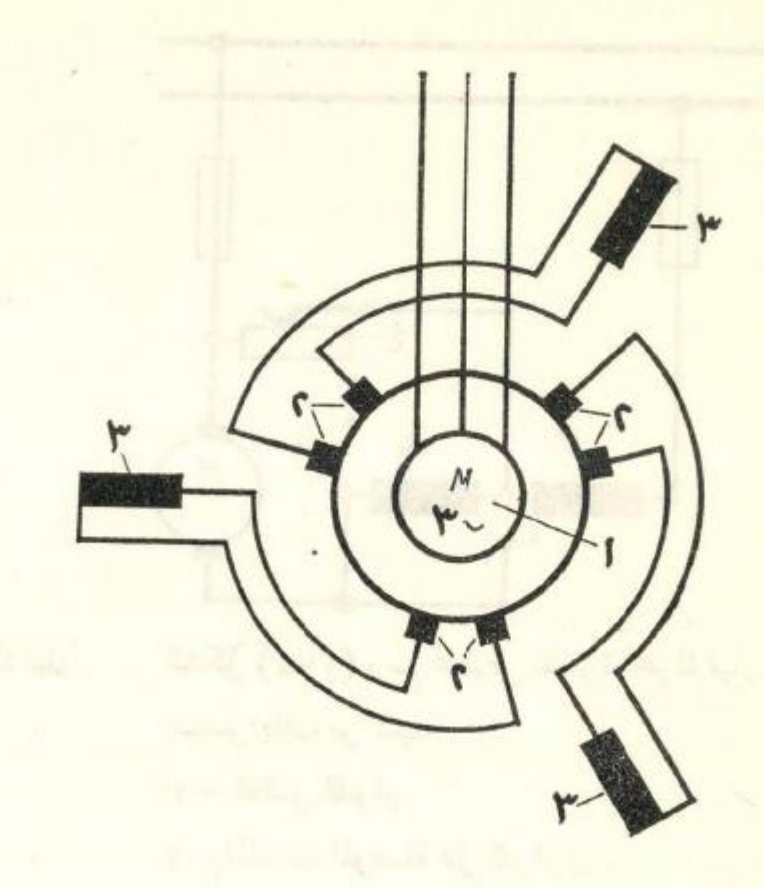
ويتميز المحرك ذو اللف المركب بأنه يدور بسرعة ثابتة عند التشغيل بدون حمل فقط ، أى أن خواصه فى هذه الحالة تكون مشابهة تماما للمحرك بلف على التوازى ، أما عند تحميله فإن سرعته تنخفض وتستمر فى الانخفاض كلما زاد التحميل . وتستخدم مثل هذه المحركات فى المصاعد وآلات الإنتاج والآلات المزودة بأثقال حدافة ، مثل المكابس والمثاقب والمقصات .

(٦٠) محركات ثلاثية الأطوار بلف على التوازى :

من مميزات هذه المحركات إمكان تغيير سرعتها بدقة متناهية داخل حدود مجال واسع . وتتميز هذه المحركات بثبات سرعة دورانها عند الأحمال المتغيرة. وتوجد مجموعتان من المحركات بلف متواز :

محركات تغذى بالتيار المتردد عن طريق العضو الدوار ، ومحركات تغذى بالتيار المتردد عن طريق العضو الساكن .

وتعتبر المحركات من النوع الأول أكثر المحركات استخداما . ويبين شكل (١٧٥) رسما تخطيطيا لدائرة توصيل محرك بلف متواز ، تجرى تغذيته عن طريق العضو الدوار . ولا يتضمن الرسم التخطيطى ملفات العضو الساكن .



الشكل(١٧٥) رسم تخطيطى لمحرك ثلاثى الأطوار بلف على التوازى وبعضو دوار مغذى بالكهرباء .
١ – ملفات العضو الدوار .
٢ – مجموعة المبدل .
٣ – ملفات المبدل .

ويوجد بهذه المحركات ثلاثة أنواع من الملفات :

الملفات الأولى خاصة بالعضو الدوار ، والثانية خاصة بالعضو الساكن ، والثالثة خاصة بالفرش الموجودة على المبدل ويطلق عليها اسم « ملفات المبدل » .

ويغذى العضو الدوار من الشبكة ، وعندما يدور العضو الدوار يتولد بالحث فى ملفات العضو الساكن جهد تتغير قيمته بتغير سرعة العضو الدوار ، كما يتولد أيضا جهد آخر بالحث فى ملفات البدل ، هذا الجهد الأخير يؤثر تأثيرا عكسيا على الجهد المتولد فى ملفات العضو الساكن . ومن الممكن تغيير قيمة الجهد المتولد بالحث فى ملفات المبدل ، بتغيير نظام وضع الفرش بالمبدل (عضو التوحيد) وذلك باستخدام وسيلة ميكانيكية تعمل بطريقة يدوية لتحريك الفرش على المبدل للتحكم فى الجهد المتولد بالحث فى العضو الساكن . ويتم تغيير سرعة المحرك بتغيير وضع الفرش بالنسبة لبعضها البعض فى كل طور من الأطوار بالكيفية التالية :

فى حالة تقريب الفرش بحيث يقع كل زوج من الفرش على شدفة واحدة من شدفات (خوص) ، المبدل ، أى عند عمل قصر دائرة لملفات المبدل المحصورة بين كل زوج من الفرش ، فإن المحرك يدور تماما كمحرك لا تزامنى (وتفيد هذه الحالة عند بدء التشغيل) .

أما إذا حركت الفرش بحيث تكون بين الفرشة والأخرى (لكل زوج من الفرش) شدفة (أو خوصة) واحدة ، بدون عكس توصيل ملفات المبدل ، فإن سرعة دوران المحرك تقل عن سرعة التزامن ويظل المحرك لا تزامنيا .

أما إذا حركت الفرش بحيث يكون بين كل فرشة والأخرى شدفة (أو خوصة) واحدة ، ولكن بكيفية مختلفة عن الطريقة السابقة ، بحيث تعكس طريقة توصيل ملفات المبدل ، فإن سرعة دوران المحرك تزيد على سرعة التزامن .

ومن مميزات هذه المحركات ، إمكان تغيير سرعتها تدريجيا دون أن يحدث بها أى فقد فى القدرة . وتستخدم هذه المحركات فى إدارة آلات الغزل ومكابس الطباعة الدوارة وآلات صناعة الورق .

(٦١) محركات لاتزامنية وحيدة الطور :

يوجد أنواع مختلفة من المحركات وحيدة الطور بسرعة ثابتة أهمها :

(ا) محركات وحيدة الطور بدون وسيلة بدء حركة .
(ب) محركات وحيدة الطور بمكثف .
(ج) محركات ثلاثية الأطوار تعمل كمحركات وحيدة الطور .

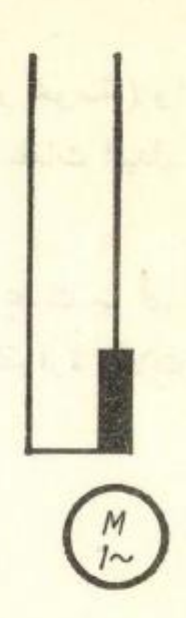
(أ) محركات وحيدة الطور بدون وسيلة بدء حركة :

هذه المحركات لا تستخدم حاليا . وتتكون من عضو دوار على هيئة قفص سنجابى ، تغذى ملفاته بتيار متردد فيتولد بها مجال دوار . وهذا المجال غير كاف لإنتاج عزم الدوران المطلوب عند بدء التشغيل . لذلك يفضل إدارة المحرك يدويا عند بدء التشغيل . ويحدد اتجاه بدء التشغيل اتجاه دوران المحرك بعد ذلك .

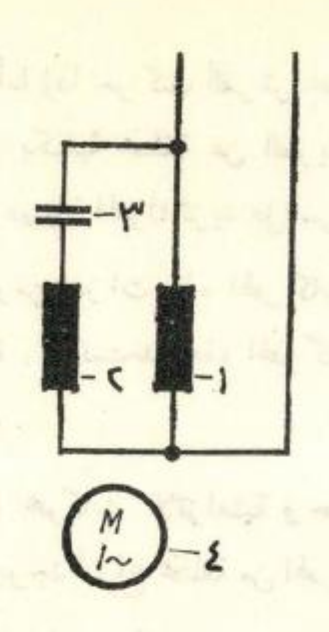
ويبين شكل (١٧٦) رسما تخطيطيا لدائرة توصيل هذه المحركات ، وهى تستخدم فى تشغيل الأجهزة الكهربائية المنزلية (مثل الغسالات والثلاجات) بقدرة مقننة صغيرة تسمح بتوصيلها توصيلا مباشرا بالمنبع .

(ب) محركات وحيدة الطور بمكثف :

هذا المحرك يشبه فى كثير من النواحى ، المحرك وحيد الطور بدون وسيلة بدء حركة : إلا أنه مزود بوسيلة لبدء تشغيله أتوماتيكيا (تلقائيا) دون حاجة إلى تحريكه يدويا . كما أن له اتجاه دوران محدد لا يعتمد على اتجاه بدء الحركة . وهذا المحرك يطلق عليه أيضا اسم محرك بطور مشطور . ويرجع ذلك إلى أن ملفاته مقسمة إلى قسمين يطلق على أحدهما اسم الملفات الرئيسية ويطلق على الأخرى اسم الملفات المساعدة. ويوصل على التوالى بالملفات المساعدة مكثف لحصول فى هذه الملفات على تيار مزاح ، يتقدم التيار المار فى الملفات الرئيسية بحوالى ٩٠°. وبهذه الكيفية يتكون بالمحرك مجالان مغنطيسيان بينهما زاوية ، يؤدى التفاعل بينهما إلى بدء تشغيل المحرك تلقائيا . ويبين شكل (١٧٧) رسما تخطيطيا لدائرة هذا المحرك .



الشكل (١٧٦) رسم تخطيطى لمحرك وحيد الطور ليس به وسيلة بدء تشغيل .



الشكل (١٧٧) رسم تخطيطى لمحرك وحيد الطور بمكثف لبدء التشغيل .
١ – الملفات الرئيسية
٢ – الملفات الموصلة على التوازى
٣ – المكثف ٤ – العضو الدوار .

ويوجد نوعان من المحركات وحيدة الطور بمكثف .

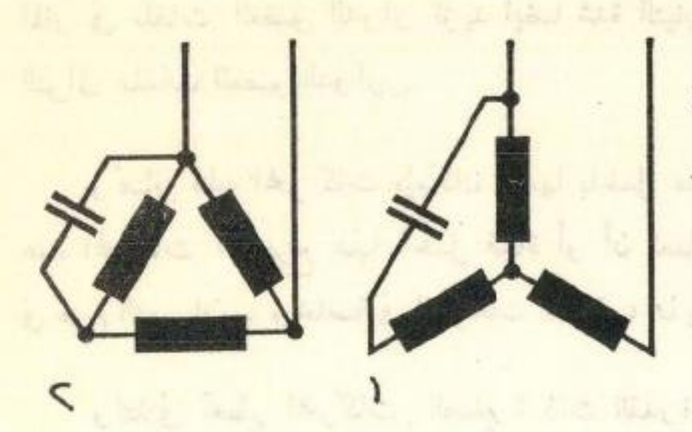
النوع الأول ، فيه تزود الملفات المساعدة بمفتاح (يعمل يدويا أو بالطرد المركزى) ، لفصل الملفات المساعدة والمكثف من الدائرة عندما يصل المحرك إلى السرعة المقننة ، وفى هذه الحالة تصمم الملفات المساعدة والمكثف لتعمل لفترة قصيرة فقط (فترة بدء التشغيل) .

النوع الثانى : فيه تظل الملفات المساعدة والمكثف موصلة بالدائرة حتى بعد وصول المحرك إلى السرعة المقننة . وتصمم الملفات المساعدة والمكثف فى هذه الحالة الأخيرة لتعمل طوال فترة تشغيل المحرك .

(ﺟ) محركات ثلاثية الأطوار تعمل كمحركات وحيدة الطور :

تستخدم المحركات الثلاثية الأطوار بقفص سنجابى والتى لا تتعدى قدرتها المقننة ٣ كيلووات لتعمل كمحركات وحيدة الطور ، وبسرعة ثابتة . ويعيب هذه المحركات أن قدرة خرجها لا تتعدى ٨٠٪ فقط من قدرتها المقننة . وتستخدم المكثفات أيضا فى هذا النوع من المحركات لبدء التشغيل . ويتم تحديد قيمة المكثف تبعا لقيمة الجهد المستخدم عليه المحرك . وتقدر قيمة المكثف فى حالة محرك يعمل على جهد ٢٢٠ فلط بحوالى ٧٠ ميكروفاراد .

ويبين شكل (١٧٨) رسما تخطيطيا لدوائر محركات ثلاثية الأطوار تعمل كمحركات وحيدة الطور بسرعة ثابتة .



الشكل (١٧٨) كيفية توصيل المحركات الثلاثية الأطوار لتعمل كمحركات وحيدة الطور بمكثف
١ – محرك ثلاثى الأطوار بتوصيلة النجمة .
٢ – محرك ثلاثى الأطوار بتوصيلة الدلتا .

(٦٢) المحركات التزامنية :

لا يختلف تصميم المحركات التزامنية عن تصميم المولدات التزامنية التى سبق شرحها . غير أنه من النادر استخدام المولدات التزامنية ذات المقننات الكبيرة لتشغيلها كمحركات للأسباب الآتية :

(ا) أن هذه المحركات تحتاج إلى مصدر دائم للتيار المستمر لتغذية ملفات الإثارة لمغنطيسات المجال . لذلك يقرن مع عمود إدارة المولدات المتزامنة ، مولد صغير لتغذية ملفات الإثارة بالتيار المستمر .

(ب) صعوبة بدء تشغيل هذه المحركات . لذلك تزود المحركات المتزامنة الحديثة بعضو دوار آخر على هيئة قفص سنجاب بالإضافة إلى العضو الدوار الرئيسى . و يستخدم العضو الدوار على هيئة قفص السنجاب فى عملية بدء التشغيل للمحرك التزامنى . وفى بعض الأحيان يقرن المحرك التزامنى بمحرك لا تزامنى يستخدم فى عملية بدء الحركة ، ويتم فصله عند وصول المحرك التزامنى إلى السرعة المقننة .

وتتميز المحركات التزامنية بثبات سرعتها ودقتها . حيث أنها تساوى سرعة المجال الدوار . إلا أنه يعيب هذه المحركات انخفاض سرعتها عند تعرضها للتحميل الزائد ، فتخرج عن سرعة التزامن ، مما يؤدى إلى توقفها تماما . كما أن زيادة التحميل تؤدى إلى زيادة التيار فى هذه المحركات بدرجة كبيرة جدا مما يؤدى إلى تلفها .

ثانيا – محركات بسرعة محكومة بالحمل :

تسمى المحركات التى تعتمد سرعتها على مقدار الحمل محركات بسرعة محكومة بالحمل . وفيما يلى شرح مبسط لأهم أنواع هذه المحركات .

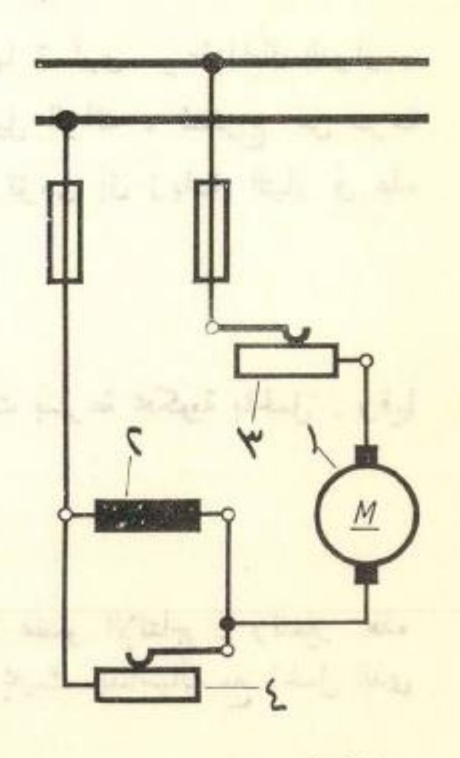
(٦٣) محركات التيار المستمر بلف على التوالى :

فى هذه المحركات توصل ملفات المجال على التوالى بملفات عضو الإنتاج . وتتميز هذه المحركات بأن سرعتها وعزم دورانها يتغيران بطريقة معينة ، بحيث يتناسبان مع الحمل الذى

تقوم به هذه المحركات . ومن أهم مميزات المحركات بلف على التوالى أنه كلما زادت شدة التيار المار فى ملفات العضو الدوار تزيد أيضا شدة التيار فى ملفات الإثارة ، حيث أنها متصلة على التوالى بملفات العضو الدوار .

وتمتاز هذه المحركات بإمكان قيامها بالحمل عند بدء التشغيل . ويجب أن يراعى عند تشغيل هذه المحركات ألا يرفع عنها الحمل فجأة أو أن تعمل بدون حمل ،وإلا أدى ذلك إلى زيادة كبيرة فى عزم الدوران ، وخاصة فى السرعات العالية ، مما يترتب عليه تحطيم المحرك .

ولتلافى تحطيم المحركات الصغيرة ذات القدرة الكسرية (أقل من حصان واحد) من هذا النوع ، تستخدم عادة رياش مروحة تبريد المحرك المركبة على عمود إدارته ، كحمل دائم لحمايته من زيادة السرعة عند بدء التشغيل أو عند رفع الحمل الأساسى من عليه . ومن أمثلة المحركات الصغيرة التى تستخدم فيها وسائل الحماية هذه محركات تجفيف الشعر ، والمراوح الصغيرة والمكانس الكهربائية . لذلك يراعى عند تصميم مراوح تبريد هذه المحركات أن يكون تغير مقدار مقاومة الهواء لرياش هذه المراوح مناسبا ،بحيث تمنع أى زيادة غير عادية فى سرعة المحرك . ويبين شكل (١٧٩) رسما تخطيطيا لدائرة محرك من هذا النوع . وتصلح المحركات الكبيرة من هذا النوع للتشغيل الثقيل ، مثل الجر الكهربائى (السكك الحديدية الكهربائية) ، والآلات المستخدمة فى مصانع إنتاج المعادن (مكنات الدرفلة) . وتصمم هذه المحركات أيضا فى بعض الأحيان بقدرة خرج صغيرة لتعمل على التيار المتردد والتيار المستمر فى نفس الوقت .



الشكل (١٧٩) رسم تخطيطى لمحرك تيار مستمر بلف على التوالى :

١ – العضو الدوار **٣ – مبدىء التشغيل**

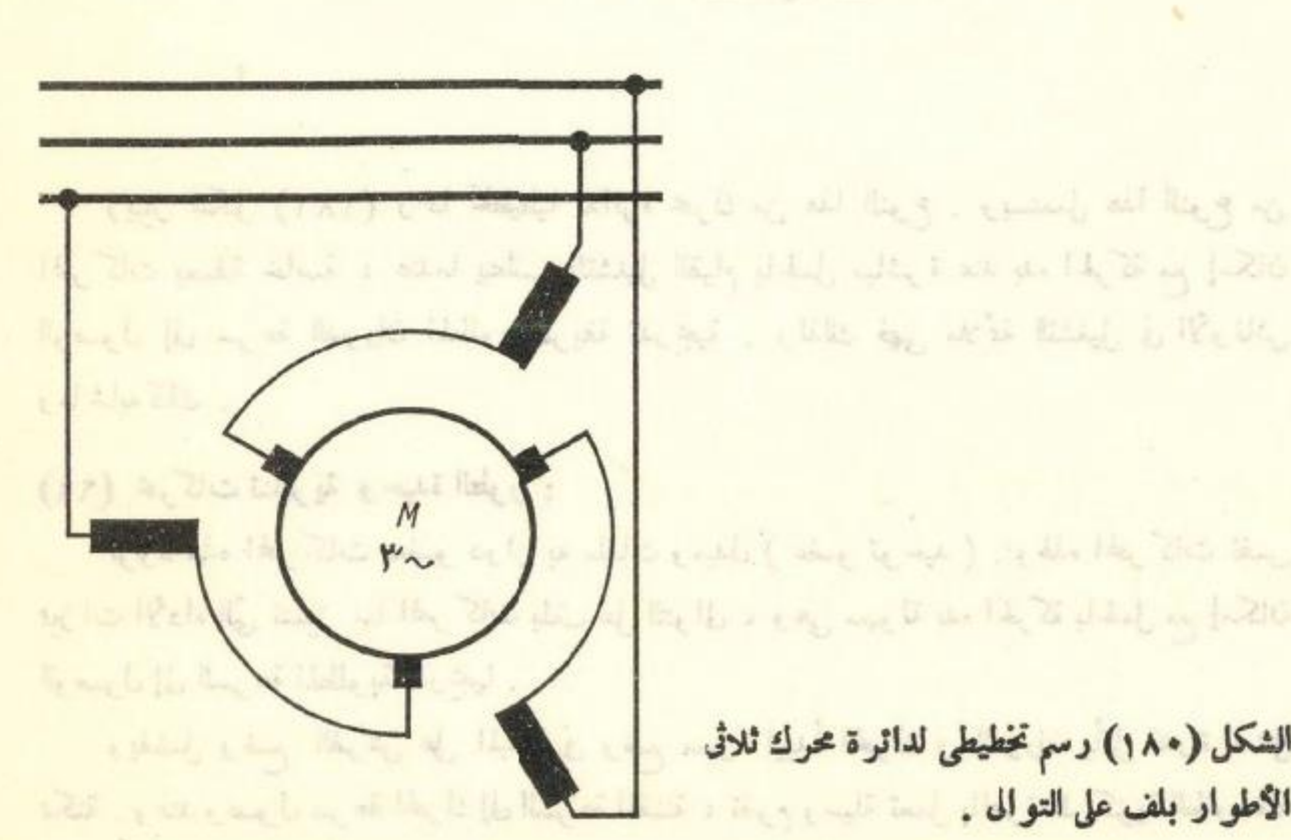
٢ – ملفات المجال **٤ – ريوستات المجال**

(٦٤) محركات ثلاثية الأطوار بلف على التوالى :

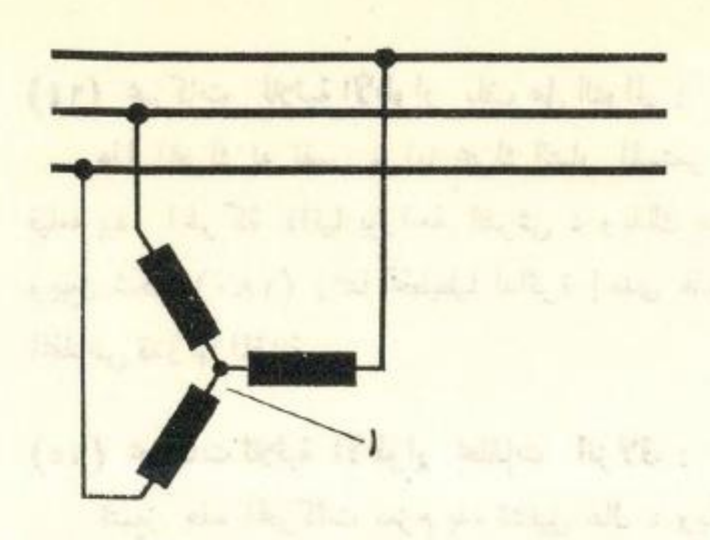
هذا المحرك له نفس مزايا محرك التيار المستمر بلف على التوالى ، كما أنه يمتاز بإمكان قيامه ببدء الحركة ذاتيا بإزاحة الفرش ، وبذلك يمكن تجنب وجود أى فقد عند بدء الحركة . ويبين شكل (١٨٠) رسما تخطيطيا لدائرة إحدى هذه المحركات . ويعيب مثل هذه المحركات انخفاض قدرتها المقننة .

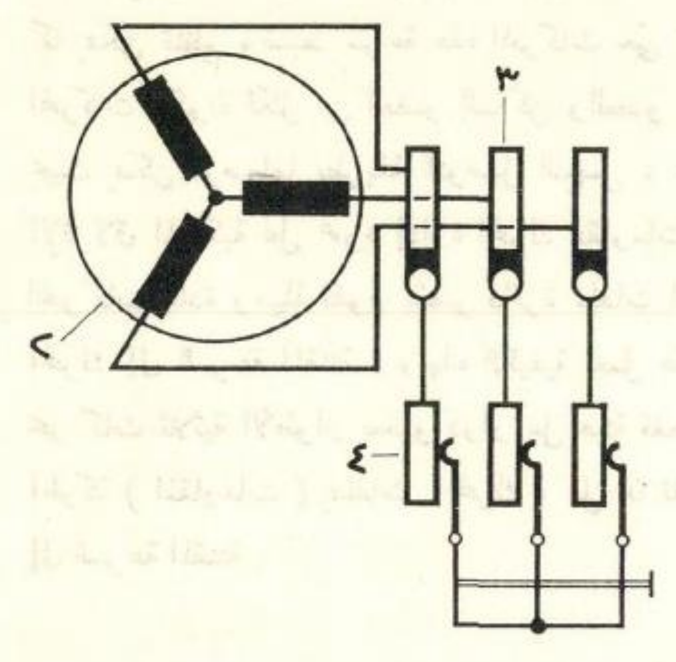
(٦٥) محركات ثلاثية الأطوار بحلقات انزلاق :

تتميز هذه المحركات بعزم بدء تشغيل عال ، وبأن بدء حركتها يتم بطريقة سهلة وتدريجية . كما يمكن تنظيم وضبط سرعة هذه المحركات حتى تصل إلى السرعة اللاتزامنية المقننة . وفى هذه المحركات يكون لكل من العضو الساكن والعضو الدوار ملفات خاصة به ، وترتب هذه الملفات بحيث يمكن توصيلها بطريقة التوصيل النجمى ، على أن توصل نهايات الملفات المتصلة بحلقات الإنزلاق المركبة على عمود إدارة المحرك بمقاومات لحد من تيار بدء التشغيل . ويستخدم فى هذه المحركات عادة وسيلة تقوم بقصر دائرة ملفات العضو الدوار ، وفصل الفرش بمجرد وصول المحرك إلى السرعة المقننة . وبهذه الكيفية تعمل هذه المحركات بعد بدء الحركة كما لو كانت محركات ثلاثية الأطوار بعضو دوار على هيئة قفص سنجاب . ويفضل عادة توصيل وسيلة بدء الحركة (المقاومات) بملفات المحرك ، على أن تنفصل من الدائرة بمجرد وصول العضو الدوار إلى السرعة المقننة .



الشكل (١٨٠) رسم تخطيطى لدائرة محرك ثلاثى الأطوار بلف على التوالى .





الشكل (١٨١) رسم تخطيطى لدائرة محرك حثى ثلاثى الأطوار بحلقة انزلاق
١ – العضو الساكن
٢ – العضو الدوار
٣ – حلقات الانزلاق
٤ – مبدىء التشغيل (مقاومة متغيرة)

ويبين شكل (١٨١) رسما تخطيطيا لدائرة محرك من هذا النوع . ويستعمل هذا النوع من المحركات بصفة خاصة ، عندما يتطلب التشغيل القيام بالحمل مباشرة عند بدء الحركة مع إمكان الوصول إلى سرعة الدوران المطلوبةبطريقة تدريجية . ولذلك فهى ملائمة للتشغيل فى الأوناش وما شابه ذلك .

(٦٦) محركات تنافرية وحيدة الطور :

تزود هذه المحركات بعضو دوار به ملفات ومبدل (عضو توحيد) . ولهذه المحركات نفس مميزات الأداء التى تتميز بها المحركات بلف على التوالى ، وهى سهولة بدء الحركة بالحمل مع إمكان الوصول إلى السرعة المطلوبة تدريجيا .

ويفضل وضع الفرش على المبدل فى وضع معين ليبدأ المحرك فى الدوران بأقل قدرة دخل ممكنة . وعند وصول سرعة المحرك إلى السرعة المقننة ، تقوم وسيلة تعمل بالقوة المركزية الطاردة ،

بفصل الفرش وقصر دائرة ملفات العضو الدوار ، وعندئذ يعمل المحرك التنافرى كما لو كان محركا حثيا بعضو دوار على هيئة قفص سنجاب بسرعة ثابتة . ويتم تغيير سرعة المحرك بعد ذلك بتغيير وضع الفرش على شدفات المبدل . ويبين شكل (١٨٢) رسما تخطيطيا بالدائرة محرك من هذا النوع .

ويصلح هذا المحرك لتشغيل المكابس ، وكباسات الهواء وأجهزة التكييف التى تحتاج إلى عزم بدء تشغيل عال .

المغنطيسات الكهربائية

(٦٧) المغنطيسات الرافعة :

تستخدم المغنطيسات الكهربائية الرافعة فى تحميل المواد الحديدية وفى نقلها لمسافات قصيرة . ويبين شكل (١٨٣) مدى قدرة المغنطيس الكهربائى ليقوم برفع مثل هذا الحمل .

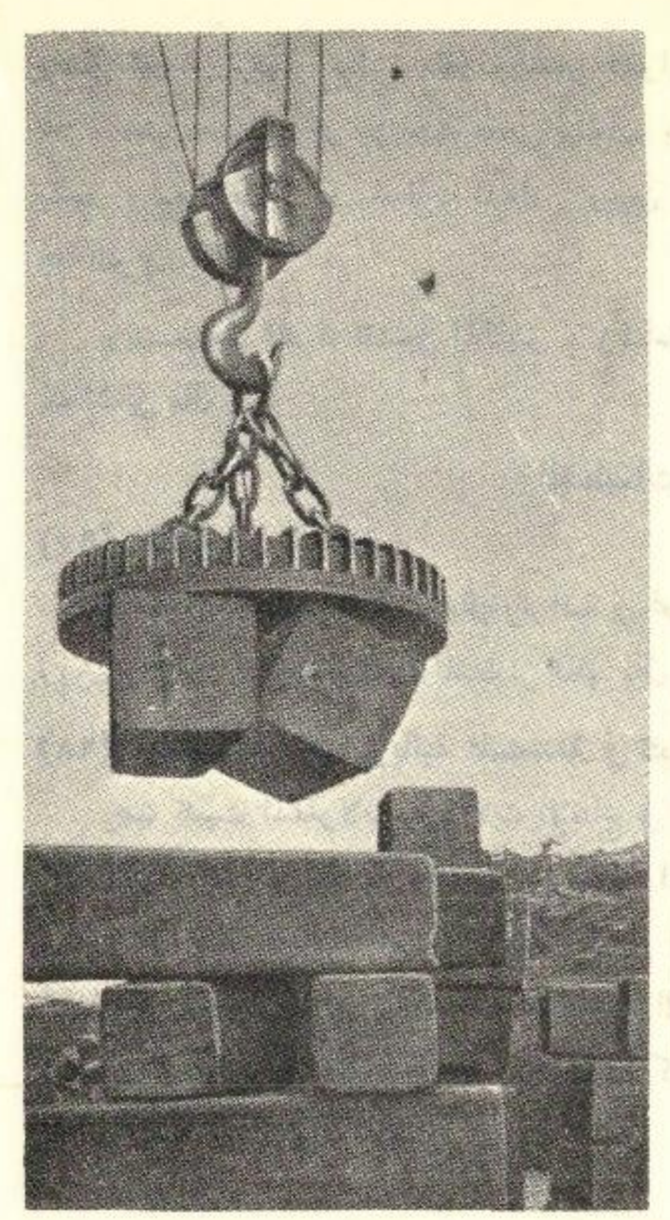
(٦٨) المغنطيسات الكهربائية المستخدمة فى تثبيت المشغولات :

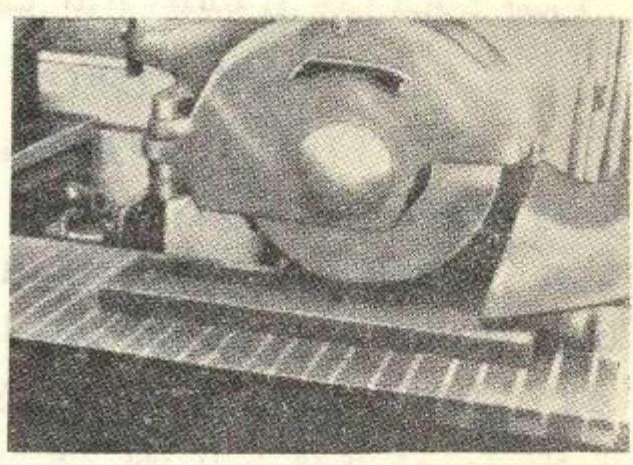
يجب تثبيت المشغولات على آلات الإنتاج فى مكانها تماما وبطريقة تضمن بقاءها فى موضعها أثناء إجراء عمليات التشغيل المختلفة . ولبعض المشغولات شكل غير منتظم بحيث يتعذر تثبيتها فى موضعها بالطرق التقليدية . فإذا طلب تجليخ أو كشط قطعة منشورية مثلا بدقة عالية . فإننا نحصل على أحسن النتائج باستخدام المغنطيسات الكهربائية فى مسك وتثبيت هذه القطعة . لذلك تزود معظم آلات التشغيل الحديدية بمغنطيسات كهربائية كتلك المبينة بالشكل (١٨٤) بدلا من وسائل المسك أو التثبيت المألوفة .



الشكل (١٨٢) رسم تخطيطى لدائرة محرك تنافرى .

الشكل (١٨٣) مغنطيس رافع





الشكل (١٨٤) مغنطيس كهربائى يستخدم لتثبيت المشغولات على سطح ماكينة تجليخ

الباب السابع

اجهزة تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة كيميائية

يطلق فى كثير من الأحيان على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية اسم التحويل الكهر كيميائى أو التحليل الإلكتروليتى .

ويستخدم التحليل الإلكتروليتى فى أغراض شتى فى الصناعة منها :

١ – إنتاج المعاد بالترسيب الكهربائى .

٢ – جلفنة المعادن .

٣ – جلفنة اللدائن ، أو جلفنة البلاستيك .

(٦٩) إنتاج المعادن بالترسيب الكهربائى :

يستخدم التحليل الكهربائى فى الصناعة لحصول على المعادن النقية مثل النحاس والألومنيوم ، إلخ . فيستخرج الألومنيوم النقى بالتحليل الكهربائى للمخلوط المكون من أكسيد الألومنيوم المذاب فى مصهور رخام الكريوليت . كما يتم إنتاج الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم) بتحليل محلوم ملح الطعام كهربائيا . ولن نتناول هذا المجال بالتفصيل ، وإنما نكتفى ببعض الأمثلة التى يستخدم فيها الترسيب الكهربائى لإنتاج المعادن النقية .

(٧٠) جلفنة المعادن :

يستخدم الترسيب الكهربائى فى طلاء أسطح المعادن القابلة للصدأ بتغطيتها بطبقة رقيقة واقية من معدن آخر غير قابل للصدأ ، مثل الكروم أو الفضة أو النيكل أو النحاس ، أو أى معدن من المعادن النفيسة ، كما يفيد أيضا فى إعطاء سطح المعادن بريقا لامعا .

الخطوات المتبعة فى عملية جلفنة المعادن :

ينظف سطح المعدن المراد طلاؤه تنظيفا جيدا بمعاملة سطحه لإزالة الصدأ أو الدهون التى قد تكون عالقة به . ثم يوضع هذا المعدن فى الإلكتروليت ويستخدم كهبط (كاثود) ، بينما يستخدم المعدن النفيس (النيكل مثلا) كصعد (أنود) وبذلك تخرج أيونات المعدن النفيس من المصعد وترسب على سطح المعدن الجارى طلاؤه . وتصنع أحواض الترسيب عادة من ألواح الصلب المبطنة بمواد عازلة مثل الفخار اللامع ، أو من الحديد المطلى بالطلاء من الصينى ، أو من

ألواح من الزجاج. ويحتوى الإلكتروليت عادة على ملح من الأملاح المعدنية البسيطة الخاصة بالمعدن النفيس مثل أملاح الكلوريدات ، أو أملاح الكبريتات أو من ملح من أملاح السيانيد المزدوجة كأملاح النحاس المزدوجة ، أو أملاح الفضة المزدوجة ، إلخ .

وتجرى تغذية التيار المستمر المستخدم فى عملية الترسيب الكهربائى بإحدى الطرق الآتية :

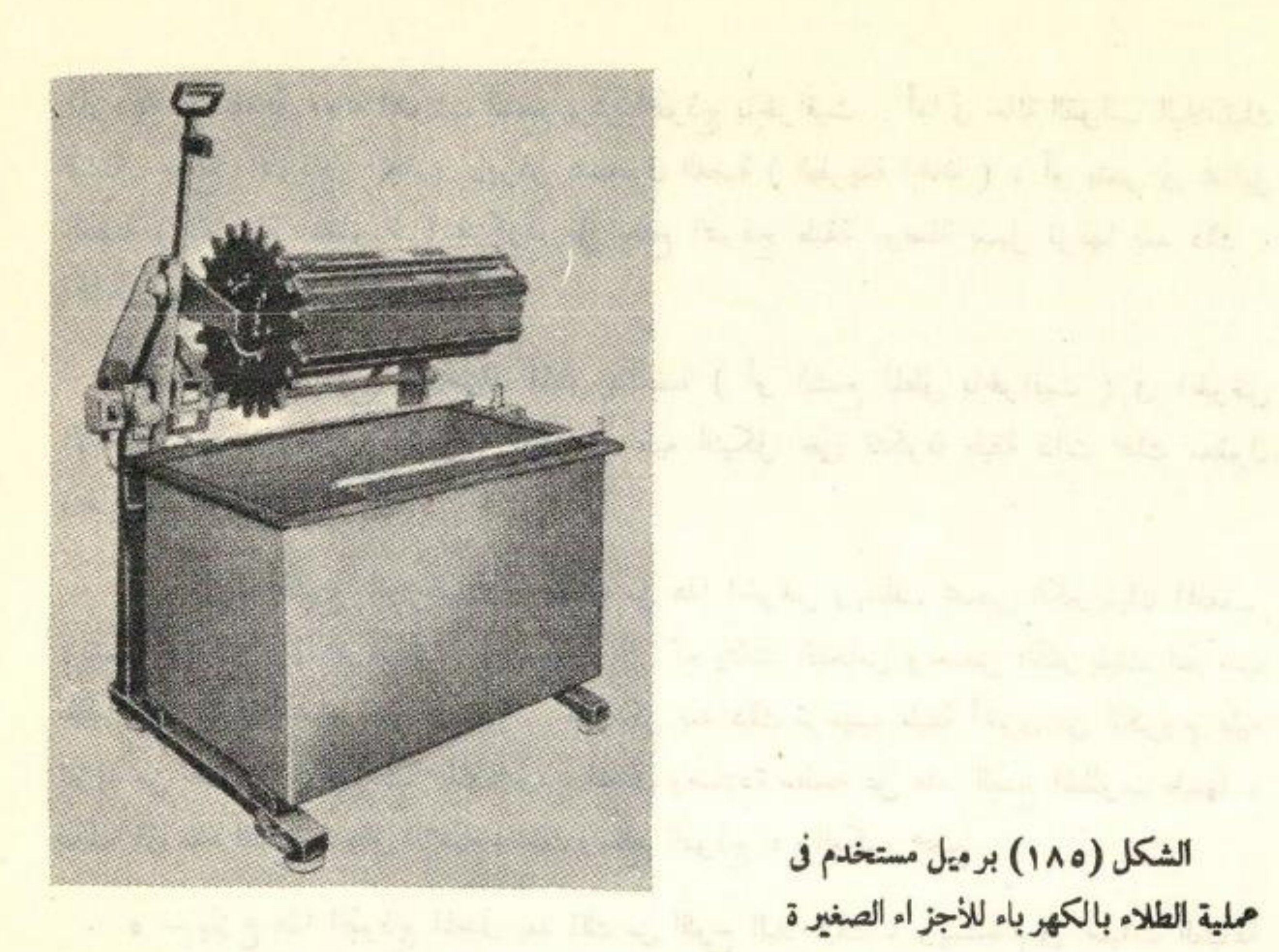
١ - بواسطة مجموعة محرك - مولد مركبة على قاعدة مشتركة . وفيها يغذى المحرك اللاتزامنى بنظام تيار متردد ثلاثى الأطوار ، فيدفع المولد لينتج التيار المستمر اللازم لهذه العملية . ويتراوح جهد التيار المستمر المستخدم فى مثل هذه النظم بين ٤ فلط ، ٤٠ فلط حسب الحاجة . أما القدرة المقننة المستخدمة فى عمليات الترسيب فتتراوح بين ١٨٠،٥ كيلووات - أى أن التيار المقنن المستخدم فى عمليات الترسيب عند جهد ٦ فلط يتراوح بين ١٠٠ ، ٣٠٠٠ أمبير .

٢ - بواسطة مقومات شبه موصلة بتبريد الهواء أو الزيت . ويتم توصيل مجموعات منها على التوالى وعلى التوازى لحصول على الجهد والتيار اللازمين . والجهود المقننة المستخدمة عادة فى مثل هذه النظم هى ٨ فلط ، ١٦ فلط ، ٢٥ فلط . وتتراوح شدة التيارات المستمرة المستخدمة لهذا الغرض بين ١٥٠ ، ٥٠٠٠ أمبير .

وتحتوى المعدات الكهربائية المستخدمة فى عملية الترسيب على أجهزة قياس ، وأجهزة تحكم ، ومعدات للوصل والقطع ،ومعدات لعكس اتجاه التيار (عكس القطبية) . ويفضل فى كثير من الأحيان ، من الناحية الاقتصادية ،عدم تغطية سطح المعادن المراد طلاؤها بالطبقة الواقية النهائية مباشرة ،فقد اتضح مثلا من الناحية العملية أن طبقة الكروم المستخدمة فى طلاء الحديد تصبح أكثر ثباتا إذ طليت الأجزاء الحديدية أولا بطبقـــة من النيكل أو من النحاس بالوسائل الكهروكيميائية قبل طلائها بالكروم .

وقد أدى إدخال النظم الأتوماتيكية فى عمليات الجلفنة إلى استحداث أجهزة ومعدات ذات كفاءة عالية لمعاملة السطوح ، وطلاء المعادن بطرق اقتصادية ، وتستخدم فى هذه المعدات أحدث الطرق الكهروكيميائية التى تضمن طلاء جميع الأجزاء المعدنية بطبقة متجانسة وبالسمك المطلوب تماما .

وتصنع أحواض الطلاء بأشكال مختلفة ، فهناك أحواض على هيئة متوازى مستطيلات تستخدم فى طلاء الأجزاء الكبيرة ، كما توجد أحواض صغيرة على شكل برميل كما هو مبين بشكل (١٨٥) أو على شكل ناقوس يوضع فيها الإلكتروليت ؛وتستخدم هذه البراميل لطلاء الأجزاء الصغيرة . وتدار هذه الأحواض لكى تحرك الأجزاء المعدنية المراد طلاؤها بصفة مستمرة . فتضمن بذلك تغطيتها بطبقة متجانسة من النيكل أو الكروم أو الفضة ، إلخ . كما توجد أنواع مختلفة من المعدات التى تجرى فيها جميع خطوات عملية الجلفنة أتوماتيكيا ، ابتداء من تحميل المشغولات إلى غسلها وجلفنتها وتجفيفها ثم نقلها وتخزينها .



الشكل (١٨٥) برميل مستخدم فى عملية الطلاء بالكهرباء للأجزاء الصغيرة

(٧١) جلفنة اللدائن (البلاستيك المجلفنة) :

تستخدم عملية جلفنة اللدائن فى الحصول على نموذج معدنى له سمك معقول وله شكل مطابق تماما للشكل المحفور على قطعة من مادة غير موصلة ، من البلاستيك مثلا .

ويستخدم هذا النموذج المعدنى فى إعادة طبع هذا الشكل على الورق أو على رقائق الألومنيوم أو البلاستيك عددا هائلا من المرات،دون أن يؤدى ذلك إلى تلف النموذج أو تشويهه . وهذه الطريقة من أحدث الطرق المستخدمة فى طباعة الأشكال والصور فى المجلات والكتب وغير ذلك . كما تستخدم عملية جلفنة اللدائن فى إنتاج الاسطوانات المسجلة .

الخطوات المتبعة فى جلفنة اللدائن :

١ — عمل القالب أو النموذج الأساسى ، ويمثل أولى خطوات عملية جلفنة اللدائن ، وكان الشمع يستخدم فيما مضى لعمل القالب ، وذلك بنقش نموذج للصورة المراد طبعها عليه أو بحفر الشكل به . وتستخدم حاليا ألواح البلاستيك لعمل النموذج الأساسى بدلا من الشمع .

٢ — عمل طبقة أولية رقيقة من مادة موصلة تأخذ نفس الشكل المحفور بالقالب . وتتميز هذه الطبقة بإمكان ترسيب المعدن عليها ، لحصول على نموذج معدنى له سمك معقول وله نفس شكل القالب . على أن تتميز أيضا بسهولة نزعها من النموذج الأصلى . ويمكن عمل هـذه الطبقة

الموصلة الرقيقة فى حالة القوالب الشمع برش النموذج بالجرافيت . أما فى حالة القوالب البلاستيك فينظف سطح النموذج المحفور ويرش بمسحوق الفضة (الطريقة الجافة) ، أو يغمر فى محاليل الفضة (الطريقة المغمورة) فتتكون على سطح النموذج طبقة موصلة يسهل نزعها بعد ذلك . كما هو مبين بالشكل (١٨٦) .

٣ – يوضع اللوح البلاستيك المطلى بالفضة (أو الشمع المطلى بالجرافيت) فى الحوض الإلكتروليتى ويوصل بالمهبط ، فيترسب عليه النيكل حتى تتكون طبقة ذات سمك معقول ولها نفس الشكل المراد طبعه .

٤ – يرفع اللوح البلاستيك بعد طلائه من هذا الحوض وينظف بحمض الكبريتيك المخفف ويغمر فى محلول إلكتروليتى آخر مكون من كبريتات النحاس وحمض الكبريتيك لتترسب عليه طبقة صلدة أخرى من النحاس . كما يمكن بعد ذلك ترسيب طبقة أخرى من الكروم عليه لتزيد من صلابته . ويتوقف سمك النموذج المعدنى وصلادة سطحه على عدد النسخ المطلوب طبعها ، فكلما قل عدد النسخ ، يقل الإهتمام بسمك وسطح النموذج ، والعكس صحيح .

٥ – ينزع هذا النموذج المعدنى بعد ذلك من اللوح البلاستيك ، ويستخدم فى عمليات الطباعة على الورق أو البلاستيك أو رقائق الألومنيوم ، وبذلك نحصل على صورة طبق الأصل للنموذج المراد طبعه بكل دقائقه وتفاصيله .



الشكل (١٨٦) عملية تصنيع نماذج القوالب بالطرق الكهركيميائية .

ولا تخلو أى مطبعة حديثة من قسم خاص لجلفنة اللدائن . وتنتج الأسطوانات المسجلة بواسطة جلفنة اللدائن ، فيشكل النموذج الأصلى للاسطوانة على لوح من البلاستيك الذى يطلى بعد ذلك بالفضة . ويوضع اللوح بعد ذلك فى المحلول الإلكتروليتى حيث يوصل بالمهبط لتترسب عليه طبقة من النحاس أو من انيكل والنحاس . وينزع النموذج المعدنى بعد ذلك من اللوح البلاستيك ، ويستخدم كنموذج لطبع هذه الإسطوانة المسجلة ، على رقائق من البلاستيك ، فنحصل بذلك على عدد غير محدود من الأسطوانات المسجلة .

ويتم طبع الأسطوانات بوضع رقائق البلاستيك (الأسطوانات المطلوبة) بين فكى النموذج المعدنى الذى تم تشكيله . ثم يضغط عليها بواسطة مكبس . ويجب تسخين المجموعة أثناء تسليط الضغط لدرجة حرارة أقل قليلا من درجة انصهار البلاستيك حتى يتم حفر الشكل على الأسطوانات بكل ما فى النموذج الأصلى من تفاصيل . وقد أمكن باستخدام الطرق الأتوماتيكية الحديثة تخفيض عدد الساعات اللازمة لإنتاج النموذج الأصلى من ٩٠ ساعة لنموذج واحد إلى ٢٤ ساعة لإنتاج ١٦ نموذجا .

الباب الثامن

أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ضوئية

(٧٢) عـــام :

يمكن تقسيم مصادر الإضاءة المستخدمة فى الهندسة الضوئية إلى نوعين رئيسيين هما :

(أ) المشعات الساخنة ، مثل المصابيح المتوهجة :

وفيها يقوم التيار الكهربائى المار فى المصابيح المتوهجة بتسخين الفتيلة ، فتخرج منها أشعة مرئية عندما تبلغ درجة حرارتها ٥٥٠٠° م

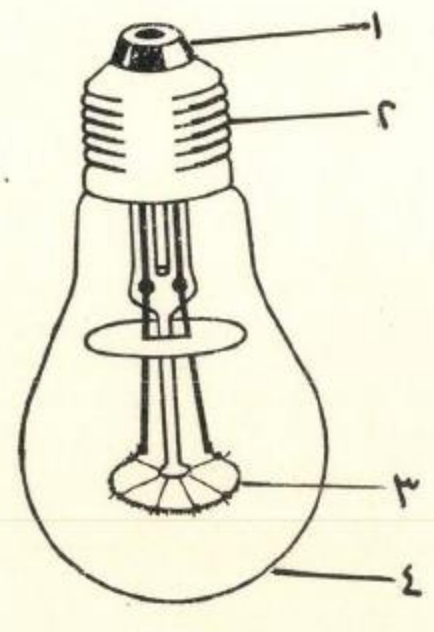
(ب) المشعات الباردة ، مثل مصابيح التفريغ المتألقة :

وفيها تتم الإضاءة بواسطة الشحنات الكهربائية التى تتولد فى الغاز أو فى أبخرة المعادن أو بواسطة إشعاع بعض المواد المضيئة .

(٧٣) المصابيح المتوهجة :

يبين الشكل (١٨٧) تصميما لمصابيح الاستخدام العام .

ويعتبر هذا النوع من المصابيح فى الوقت الحاضر أكثر مصادر الضوء استخداما لإنارة الحجرات والأماكن العامة . وتصنع الفتايل المتوهجة فى معظم الحالات من التنجستن . وتنقسم هذه الفتايل من ناحية الشكل إلى نوعين : أحدهما على شكل حلزون مفرد ، والآخر على شكل حلزون مزدوج . وتوضع الفتيلة داخل بصيلة (وعاء) زجاجية مفرغة من الهواء أو مملوءة بغاز خامل مثل غاز الأرجون أو غاز الكريبتون .



الشكل (١٨٧) التصميم الأساسى لمصباح الاستخدام العام

١ – الملامس المركزى
٢ – قاعدة المصباح
٣ – الفتيلة المتوهجة
٤ – الوعاء الزجاجى (البصيلة) .

وتزود مصابيح الاستخدام العام التى لا تتعدى قدرتها ٢٠٠ وات بقاعدة لولبية عادية (بقطر ٤٠ مم) أو بقاعدة ذات مسمار ، بينما تزود المصابيح التى تتعدى قدرتها ٣٠٠ وات بقاعدة لولبية كبيرة (بقطر ٤٧ مم) .

وتصمم مصابيح الاستخدام العام لتعمل على جهد ٢٢٠ فلط أو ١١٠ فلط . أما القدرة المقننة لمصابيح الاستخدام فهى ١٥ وات ، ٢٥ وات، ٤٠ وات ، ٦٠ وات ، ٧٥ وات ، ١٠٠ وات ، ١٥٠ وات ، ٢٠٠ وات ، ٥٠٠ وات ، ١٠٠٠ وات ، ٢٠٠٠ وات .

ويختلف تصميم المصابيح المتوهجة وأشكالها باختلاف الغرض الذى صنعت من أجله .

وفيما يلى بعض أمثلة للمصابيح المتوهجة :

مصابيح الإضاءة الصغيرة :

مثل مصابيح التليفونات ، وإضاءة التداريج فى الأجهزة ، والمصابيح المستخدمة فى الدراجات والعربات ، إلخ .

مصابيح الإضاء العالية :

مثل المصابيح المستخدمة فى مقدمة السيارات ، وفى الكشافات ، وفى أجهزة السينما .

مصابيح الضوء الغامر :

مثل المصابيح المستخدمة فى الكاميرات وأجهزة التصوير .

(٧٤) مصابيح التفريغ المتألقة :

توجد أنواع كثيرة من مصابيح التفريغ المتألقة، والتى يختلف تصميمها وشكلها وطريقة أدائها باختلاف الغرض الذى صنعت من أجله .

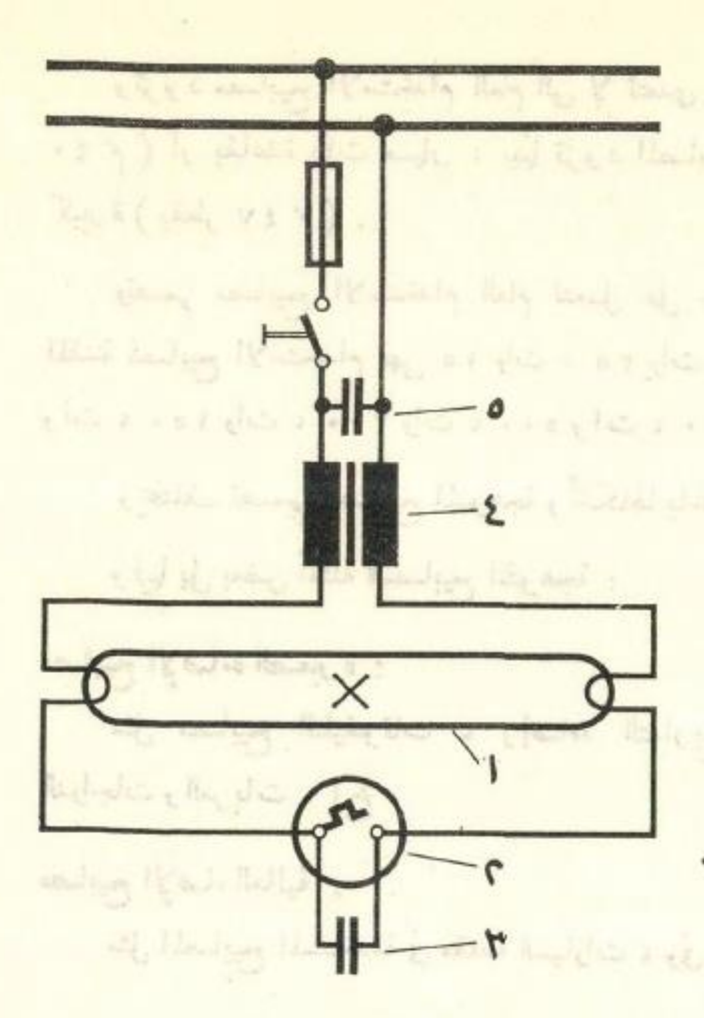
وتعتمد طريقة أداء هذه المصابيح والضوء الصادر منها على المتغيرات الآتية :

- الضغط الجوى الموجود داخل أنابيب المصابيح .
- الجهد الذى تعمل عليه هذه المصابيح .
- نوع الغازات أو الأبخرة الموجودة داخل الأنبوبة .

ومن أهم أنواع هذه المصابيح :

١ – المصابيح الفلورسنتية (بجهد منخفض وضغط جوى منخفض) :

يستخدم هذا النوع من المصابيح الفلورسنتية عادة على جهد ٢٢٠ فلط ، وقد أدخل الكثير من التحسينات على مميزات أداء هذه المصابيح ، بحيث شاع استخدامها فى كثير من الأغراض التى تستعمل فيها المصابيح المتوهجة العادية .



الشكل (١٨٨) رسم لدائرة توصيل المصباح الفلورسنت بجهد منخفض

١ – المصباح
٢ – مبدئ التشغيل
٣ – مكثف لمنع الشوشرة (على أجهزة الراديو).
٤ – ملف كبح التيار .
٥ – مكثف التعويض

ويوضح الشكل (١٨٨) رسما تخطيطيا لدائرة توصيل نوع من أنواع المصابيح الفلورسنتية العادية مع بيان طريقة عمله .

الشكل والتصميم وطريقة عمل المصابيح الفلورسنتية :

يتوقف عمل المصابيح الفلورسنتية على حدوث تفريغ كهربائى فى غاز أو بخار مخلخل موضوع فى حيز مغلق تماما . وتصنع المصابيح الفلورسنتية من أنابيب زجاجية جدرانها الداخلية مغطاة بطلاء يتوهج بفعل الأشعة فوق البنفسجية (غير المرئية) والتى تتولد عند حدوث تفريغ كهربائى فى البخار أو فى الغازات الموجودة داخل الأنبوبة . وتزود الأنبوبة بقطبين (الكترودين) ، ويتركب كل قطب من فتيل من التنجستن مثبت فى إحدى نهايتى الأنبوبة . وعند مرور التيار الكهربائى بالفتيل يقوم بتسخين لوحات معدنية موضوعة أمامه تنطلق منها الإلكترونات أو الشحنات الكهربائية السالبة وتندفع بسرعة داخل الأنبوبة بفعل المجال الكهربائى الموجود بين القطبين . ويؤدى ذلك إلى تأين الغاز أو البخار الموجود بداخلها ومرور تيار إلكترونى يسمى تيار التفريغ داخل الأنبوبة ، وعندئذ تزول الحاجة إلى تسخين الفتيلين ، فيقطع التيار المار بهما بواسطة قاطع أتوماتيكى ثنائى المعدن يطلق عليه اسم « وسيلة بدء التشغيل » و يوصل على التوالى بأقطاب

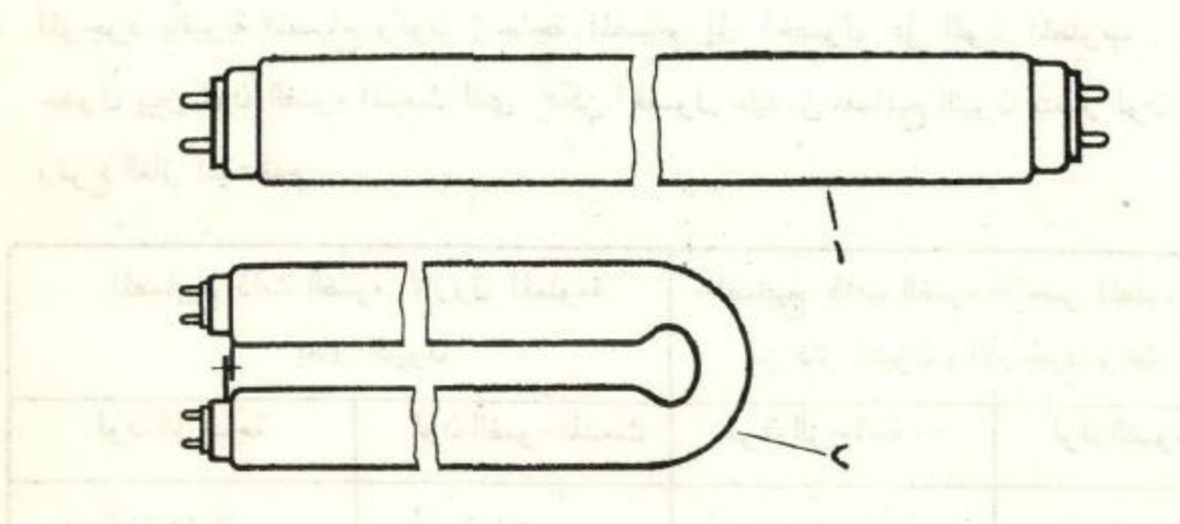
المصباح ملف خانق مكون من عدد كبير من اللفات قيمة حثها الذاتى كبيرة جدا . ويفيد الملف الخانق فى الغرضين الآتيين :

(ا) عند انقطاع تيار التسخين فجأة بواسطة وسيلة بدء التشغيل يتولد بالملف الخانق فلطية ذات قيمة عالية تكفى لإشعال المصباح وحدوث التفريغ الكهربائى المطلوب .

(ب) عند حدوث التفريغ المطلوب يقوم الملف الخانق بكبح التيار نتيجة لزيادة الحث الذاتى فيه (كلما زادت شدة التيار المار فيه) ، وبذلك يقلل من شدة تيار التفريغ كما أنه يعمل على تنظيمه والتحكم فيه . ولهذا السبب الأخير يطلق على الملف الخانق فى بعض الأحيان اسم «وحدة كبح التيار » .

ويوضح شكل (١٨٩) بعض الأشكال التى تصنع على أساسها المصابيح الفلورسنتية . ويبين الجدول التالى الأطوال النمطية للأنبوبة وقدرة دخل المصباح الفلورسنتى المقابلة لكل من هذه الأطوال .

قدرة الدخل بالواط	أنابيب بشكل قضيب				أنابيب بشكل حرف (U)	
	٢٠	٢٥	٤٠	٦٥	٢٥	٤٠
طول الأنبوبة بالمليمتر	٥٩٠	٩٧٠	١٢٠٠	١٥٠٠	٤١٠	٥٢٥



الشكل (١٨٩) أشكال المصابيح الفلورسنت ذات الجهد المنخفض

١ - مصباح فلورسنت بشكل قضيب .

٢ - مصباح بشكل حرف U

مميزات المصابيح الفلورسنتية بجهد منخفض وضغط منخفض :

تمتاز هذه المصابيح بكفاءة ضوئية عالية ، كما أن متوسط عمرها طويل ، وتبلغ كفاءة مصابيح التفريغ بصفة عامة ثلاثة أو أربعة أضعاف كفاءة المصابيح المتوهجة التى تماثلها فى الاستهلاك . ومتوسط عمر هذه المصابيح يتراوح بين ٥٠٠٠ و ٨٠٠٠ ساعة ، على أساس استمرار تشغيل المصباح أربع ساعات متواصلة فى كل مرة يتم فيها تشغيل دائرته . بينما لا يتعدى عمر المصباح المتوهج فى المتوسط ١٠٠٠ ساعة تشغيل .

ومن مزايا هذه المصابيح أنها تعطى إضاءة تشبه ضوء النهار . كما يمكن صنع هذه المصابيح بحيث ينبعث منها الضوء بألوان مختلفة ، كالأبيض المتعادل والأبيض المصفر ، والأبيض ضعيف النفاذية . وتستخدم بعض المصابيح الفلورسنتية التى ينبعث منها الأضواء الزاهية مثل الأخضر أو الأحمر أو الأزرق لأغراض خاصة كالإعلان والزينة ، إلخ .

٢ – المصابيح الفلورسنتية بجهد عال وضغط عال جوى منخفض (مصابيح النيون) :

يطلق على المصابيح الفلورية ذات الضغط الجوى المنخفض والتى تعمل على جهد عال اسم « مصابيح النيون » . تستخدم مصابيح النيون فى الإعلانات المضيئة فقط . ويستخدم مع هذه المصابيح محولات بجهد ثانوى يصل إلى ٦ ك.ف. وتنبعث من هذه المصابيح إضاءة بألوان مختلفة ، مثل الأزرق أو الأحمر أو الأخضر كما سبق أن ذكرنا . ويؤدى نوع الغاز الموجود بأنبوبة المصباح ولون زجاجة المصباح إلى الحصول على اللون المطلوب . وفيما يلى جدول يبين لون الضوء المنبعث الذى يمكن الحصول عليه من مصابيح النيون بتغيير لون الزجاجة ونوع الغاز المستخدم .

المصابيح ذات الضوء الأزرق المملوءة بغاز النيون		المصابيح ذات الضوء الأحمر المملوءة بخليط من غاز النيون والأرجون وبخار الزئبق	
لون الزجاجة	لون الضوء المنبعث	لون الزجاجة	لون الضوء المنبعث
زجاجة شفافة	أزرق فاتح	زجاجة شفافة	برتقالى على أحمر
زجاجة صفراء	أخضر	زجاجة حمراء	أحمر قان
زجاجة بنية	أصفر	زجاجة بيضاء	أحمر فاتح
زجاجة خضراء	أخضر فاتح		
زجاجة بيضاء	أزرق فاتح		

وتوضح البيانات التالية قيم الجهد والتيار التى تعمل عليها مصابيح النيون :

المصابيح ذات الضوء الأزرق بقطر ٢٧ مم – ٢١٠ فلط لكل متر طولى ويمر بها ٣٥ ملى أمبير

المصابيح ذات الضوء الأزرق بقطر ٢٢ مم – ٢٥٠ فلط لكل متر طولى ، ويمر بها ٥٠ ملى أمبير .

المصابيح ذات الضوء الأحمر بقطر ١٢ مم – ٣٠٠ فلط لكل متر طولى ، ويمر بها ٣٥ ملى أمبير .

المصابيح ذات الضوء الأحمر بقطر ٢٢ مم – ٣٥٠ فلط لكل متر طولى ، ويمر بها ٥٠ ملى أمبير .

٣ – المصابيح الفلورسنتية بجهد عال وضغط جوى منخفض :

وهى أحد أنواع المصابيح الفلورسنتية ذات الجهد العالى التى تعمل تحت ضغط جوى منخفض. وهى تشبه إلى حد كبير أنواع المصابيح النيون ذات الضوء الأزرق التى تنتج كمية كبيرة جدا من الأشعة فوق البنفسجية غير المرئية . فإذا طليت جدران أنابيب هذه المصابيح من الداخل بمادة فلورية ، فإنها تتوهج بدرجة كبيرة عندما تصطدم بها هذه الأشعة فوق البنفسجية . ويتوقف فلون الإضاءة المنبعثة من هذه المصابيح أيضا على نوع الزجاج ومادة الفلور المستخدمة فى طلائها .

وتمتاز هذه المصابيح بكفاءة ضوئية أكثر بكثير من الكفاءة الضوئية للمصابيح ذات الضوء الأزرق .

وتعمل هذه المصابيح على نظم الجهد العالى (فى حدود ٦ ك.ف) ، ولذلك يستخدم معها محولات لها ملفات ثانوية بجهد عال . وتستخدم هذه المصابيح فى الإعلانات المضيئة وفى الأغراض العامة .

٤ – مصابيح الصوديوم (بجهد منخفض وضغط جوى منخفض) :

إذا أضيف إلى المصابيح المملوءة بغاز النيون بعض آثار من الصوديوم الذى يتبخر عندما يسخن المصباح ، فإننا نحصل على مصباح الصوديوم الذى ينبعث منه ضوء له شدة ضوئية عالية . ومن خصائص هذا المصباح أنه يعمل بعد تشغيل دائرته بمدة تتراوح بين ٨ ، ١٠ دقائق ، وأن لون الضوء المنبعث منه هو اللون الأصفر الذى ترتاح إليه العين وتتضح به تفاصيل الأشياء ، بالرغم من أنه يسبغ على الأجسام فى الغالب ألوانا قاتمة ، أو ألوانا صفراء . ويتميز الضوء المنبعث من هذه المصابيح بقدرته على اختراق الأبخرة والضباب ، مما يجعل استخدامه فى إنارة الطرق والموانى المعرضة للضباب والأبخرة أمرا ضروريا لمنع الحوادث والارتباكات التى قد تحدث نتيجة لاستعمال إضاءة عادية فى مثل هذه الظروف .

٥ – مصابيح بخار الزئبق (بجهد عال وضغط جوى عال) :

تعطى مصابيح بخار الزئبق ضوءاً له لون مقبول عن الضوء الذى تعطيه مصابيح الصوديوم . وعند ارتفاع الضغط داخل أنبوبة المصباح إلى حوالى ١٠ ضغط جوى ، فإن الكفاءة الضوئية للمصباح تصل إلى أعلى قيمة لها .

كيفية تشغيل المصباح :

عند مرور التيار الكهربائى خلال الزئبق فإنه يتبخر ويحدث بالمصباح قوس كهربائى فى جو من بخار الزئبق يؤدى إلى إنتاج أشعة فوق البنفسجية عند أقطاب المصباح . وتحاط أقطاب المصباح الزئبقى عادة بأنابيب من الزجاج من نوع معين لتظل درجة حرارة الأقطاب ثابتة ، ولكى تمنع الإشعاعات فوق البنفسجية الضارة من الانبعاث للخارج .

وتستخدم الإضاءة الزئبقية الآن فى بعض المصانع للأعمال التى تستلزم رؤية تفاصيل الأشياء الدقيقة ، كما تستخدم فى الأماكن التى يوجد بها أتربة أو أبخرة تحجب الرؤية مثل مصانع الأسمنت ومصانع الغزل والمسابك .. إلخ .

٦ – المصابيح الزئبقية الفلورسنتية :

يعتبر هذا المصباح أحد أنواع مصابيح الزئبق المعدلة ،وفيه تغطى جدران المصباح الزئبق بمادة الفلور ، مما يساعد الإشعاعات فوق البنفسجية المنبعثة بكثرة من بخار الزئبق إلى الاصطدام بمادة الفلور ، فينتج عن ذلك توهج عال وضوء ذو كفاءة عالية جدا ، ويتميز هذا الضوء باللون الأبيض المصفر وتشوبه آثار لون أخضر . وتستخدم هذه المصابيح لإنارة الأماكن الشاسعة المساحة والطرق الطويلة وملاعب الكرة ، إلخ .

(٧٥) هندسة الإضـــاءة :

تبنى الأسس العلمية للهندسة الضوئية على عدد من التعريفات والاصطلاحات مثل : شدة الإضاءة – والتدفق الضوئى – وكمية الضوء – والكفاءة الضوئية – والشدة الضوئية–والكثافة الضوئية ، التى يمكن التعبير عنها بالوحدات المعترف بها ، والتى يمكن أن نجدها فى الكتب المتخصصة فى الهندسة الضوئية . وتهتم هندسة الإضاءة بوصف الطرق المناسبة لاختيار الضوء المناسب للمكان المناسب ، والذى يعطى الراحة التامة ، والكفاءة الضوئية اللازمة ، بحيث لا يسبب للأفراد أى إزعاج نتيجة لزيادة أو قلة الإضاءة . لذلك يفضل استخدام المهندسين المتخصصين فى عمليات الإضاءة للقيام بتصميم وتخطيط الإضاءة اللازمة للمصانع والمنشآت المختلفة ، أو للقيام بتصميم إضاءة أماكن العمل ، والطرقات، والشوارع ، والملاعب ، والمخازن،وغير ذلك ، لضمان ملاءمة إضاءة المكان لطبيعة العمل وللأفراد القائمين ، والحصول على الإضاءة المناسبة بأقل التكاليف .

منحنى توزيع شدة الإضاءة :

من المعروف أن المصباح العادى المعلق فى السقف لا يعطى ضوءاً له اتجاه محدد . لذلك تستخدم وسائل تثبيت المصابيح المختلفة لتفى بعدة أغراض سنذكرها فيما بعد . ومن أهم الأساليب المتبعة فى قياس كفاءة أى وسيلة من وسائل تثبيت المصابيح استخدام منحنى توزيع شدة الإضاءة .

وينقسم منحنى توزيع شدة الإضاءة إلى جزءين : الجزء العلوى ، والجزء السفلى . ويحدد الجزء العلوى شدة الإضاءة فى الجزء من الحجرة الذى يعلو المصباح ، أما الجزء السفلى فيحدد شدة إضاءة الجزء من الحجرة الواقع أسفل المصباح . ومن هنا نشأت أهمية استخدام وسائل تثبيت المصابيح .

(٧٦) وسائل تثبيت المصابيح :

تستخدم وسائل تثبيت المصابيح فى الأغراض الآتية :

١ – التأثير على اتجاه وتوزيع الإضاءة الصادرة من المصباح ، أى التحكم فى منحنى توزيع شدة الإضاءة بحيث يفى بالغرض الذى استخدم المصباح من أجله .

٢ – تسهيل عملية تركيب المصباح والسلك وملحقاته بطريقة مقبولة .

٣ – حماية المصباح من المؤثرات الخارجية التى قد يتعرض لها .

٤ – منع الأتربة والأقذار من التعلق بالمصباح مباشرة .

٥ – حماية العين من تركيز شدة الإضاءة عليها نتيجة لعدم توزيع الضوء توزيعا مريحا .

تقسيم وسائل تثبيت المصابيح :

من الممكن تقسيم وسائل تثبيت المصابيح إلى مجموعات تبعا للأغراض الآتية :

١ – منحنى توزيع شدة الإضاءة .

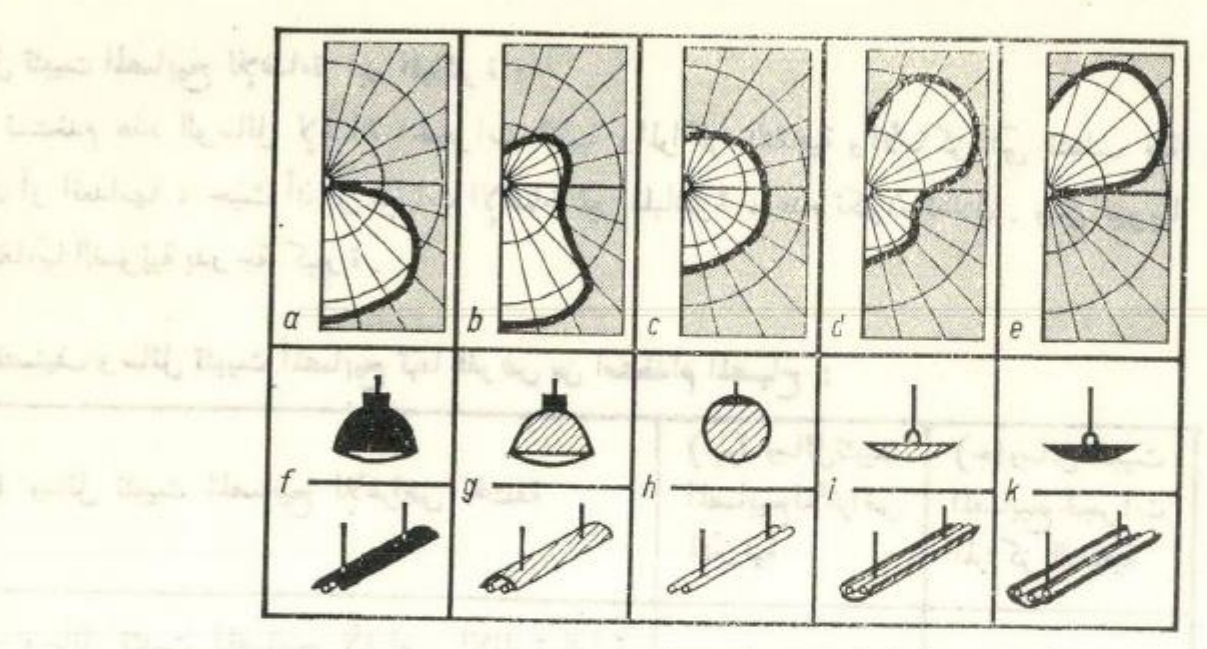
٢ – الغرض من استخدام المصباح .

٣ – ثبوتها فى مكانها أو قابليتها للتحريك .

١ – تقسيم وسائل تثبيت المصابيح تبعا لمنحنى توزيع شدة الإضاءة :

يبين الجدول التالى مع الشكل رقم (١٩٠) توضيحا عمليا لمميزات وخصائص هذا التقسيم وكيفية الاستفادة من منحنى توزيع شدة الإضاءة لاختيار أنسب وسائل التثبيت ، حيث أن كل نوع من أنواع توزيع الإضاءة تقابله وسيلة التثبيت التى تناسبه ، كما يفيد منحنى التوزيع فى الحصول على شدة الإضاءة المطلوبة أسفل المصباح أو أعلاه أو كليهما تبعا للمواصفات المطلوبة .

شدة الإضاءة	رسم ١٩٠ أ	رسم ١٩٠ ب	رسم ١٩٠ جـ	رسم ١٩٠ د	رسم ١٩٠ هـ
نسبة تدفق الإضاءة فى الجزء العلوى من المصباح .	صفر — ١٠	١٠ — ٤٠٪	٤٠ — ٦٠٪	٦٠ — ٩٠٪	٩٠ — ١٠٠٪
نسبة تدفق الإضاءة فى الجزء السفلى من المصباح .	٩٠ — ١٠٠٪	٦٠ — ٩٠٪	٤٠ — ٦٠٪	١٠ — ٤٠٪	صفر — ١٠٪
نوع وسيلة التثبيت	وسيلة تثبيت لإضاءة مباشرة تماما .	وسيلة تثبيت لإضاءة شبه مباشرة	وسيلة تثبيت لإضاءة منتظمة (مباشرة ، وغير مباشرة) .	وسيلة تثبيت لإضاءة غير مباشرة تقريبا	وسيلة تثبيت لإضاءة غير مباشرة
خصائص الإشعاع الناتج	وسيلة تثبيت تسمح الضوء بالانتشار فى حدود زاوية ضيقة .	وسيلة تثبيت تسمح للضوء بالانتشار فى زاوية أكبر .	وسيلة تثبيت تسمح للضوء بالانتشار إلى أعلى وإلى أسفل بالتساوى .	وسيلة تثبيت تسمح للضوء بالانتشار إلى أعلى أكثر منه إلى أسفل	وسيلة تثبيت تسمح للضوء بالانتشار إلى أعل فقط .
رقم رسم وسيلة التثبيت المقابلة	شكل ١٩٠ ح	شكل ١٩٠ ك	شكل ١٩٠ ل	شكل ١٩٠ م	شكل ١٩٠ ن



الشكل (١٩٠) انظر الجدول من ا – ى

ومن هذا الجدول يمكن اختيار وسيلة التثبيت المناسبة لنوع العمل والمكان المطلوب إضاءته . وفيما يلى وصف عام لوسائل التثبيت المختلفة المذكورة فى الجدول السابق .

وسائل تثبيت بإضاءة مباشرة :

تستخدم هذه الوسائل فى الورش ، وخاصة تلك التى لها أسقف عالية . وتسمح هذه الوسائل عادة للضوء بالانتشار فى زوايا ضيقة لتركيز الضوء على الأماكن المطلوب إضاءتها ، كما تستخدم لإضاءة الأماكن التى تحتاج إلى إضاءة مباشرة وخاصة تلك التى يتم فيها تجميع الأجزاء الدقيقة ، حيث أن الإضاءة غير المباشرة لا تصلح لمثل هذه الأماكن . وتستخدم أيضا فى إضاءة المخازن والأماكن المكشوفة وفى إنارة واجهات المحلات .

وسائل تثبيت بإضاءة شبه مباشرة :

تستخدم هذه الوسائل فى إنارة الحجرات والمكاتب ،وفى إنارة الورش ذات السقف المنخفضة، وخاصة تلك التى لا تستدعى تجنب الظلال .

وسائل تثبيت المصابيح للإضاءة المنتظمة :

تستخدم هذه الوسائل لإضاءة المكاتب والورش ذات السقف العادى ، والتى طليت جدرانها وسقفها بألوان زاهية ، مما يتطلب الإضاءة المنتظمة مع تجنب الظلال الكثيرة ، علما بأن كفاءتها الضوئية متوسطة .

وسائل تثبيت المصابيح للإضاءة غير المباشرة تقريبا :

تستخدم هذه الوسائل لإضاءة المكاتب ، وفى الأماكن العامة التى لا تؤثر الظلال فى درجة وضوحها ، وفى الأماكن التى تتطلب إضاءة منتظمة أيضا، مثل الاستراحات والمراكز الثقافية علما بأن كفاءتها الضوئية عالية .

وسائل تثبيت المصابيح للإضاءة غير المباشرة :

تستخدم هذه الوسائل لإضاءة الحجرات الطبية والمراكز الثقافية والأماكن التى تتطلب قلة الظلال أو انعدامها ، حيث أن من مميزات الإضاءة غير المباشرة ، عدم تكون الظلال . ومن عيوبها قلة كفاءتها الضوئية بدرجة كبيرة .

٢ – تصنيف وسائل تثبيت المصابيح تبعا للغرض من استخدام المصباح :

(ا) وسائل تثبيت المصابيح للأغراض المختلفة	(ب) وسائل تثبيت المصابيح للأغراض المنزلية	(ج) وسائل تثبيت المصابيح لحجرات المراكز الثقافية
– وسائل تثبيت المصابيح لأغراض الإنارة العامة لحجرات التى يتم فيها تشغيل المنتجات . – وسائل تثبيت المصابيح لإنارة مكان معين فى الحجرات التى يتم فيها تشغيل المنتجات . – وسائل تثبيت المصابيح فى الحجرات التى قد تتعرض لأخطار معينة مثل الإنفجارات أو الغازات . – وسائل تثبيت المصابيح المستخدمة فى التصوير وفى أغراض الزينة . – وسائل تثبيت مصابيح السيارات والقطارات .		

٣ – تصنيف وسائل تثبيت المصابيح تبعا لقابليتها للتحريك أو ثباتها فى مكانها :

وسائل تثبيت قابلة للتحريك	وسائل تثبيت ساكنة أو ثابتة فى مكانها
– وسائل تثبيت مزودة بتجهيزات لإحكام وضع وسائل تثبيت المصابيح فى مكانها . – وسائل تثبيت بدون تجهيزات لإحكام وضع وسائل تثبيت المصابيح فى مكانها وتنقسم إلى : – (ا) وسائل تثبيت نقالى – (ب) حوامل لوسائل التثبيت يمكن نقلها فى أى مكان يدويا أو بالقدم .	– وسائل تثبيت المصابيح فى السقف . – وسائل تثبيت المصابيح فى الحائط . – وسائل لتثبيت المصابيح فى الأرض . – وسائل تثبيت المصابيح داخل المبانى – وسائل لتثبيت المصابيح تستخدم بحيث يمكن توصيلها بوسائل تثبيت أخرى .

ويجب عند اختيار أنسب وسائل التثبيت التى تلائم الغرض المطلوبة من أجله الإضاءة أن توضع جميع الخصائص والمميزات التى سبق ذكرها فى الاعتبار .

الباب التاسع

أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة حرارية

(٧٧) عـام :

يمكن الحصول على طاقة حرارية من الطاقة الكهربائية باستخدام أجهزة ووسائل مختلفة كالآتى :

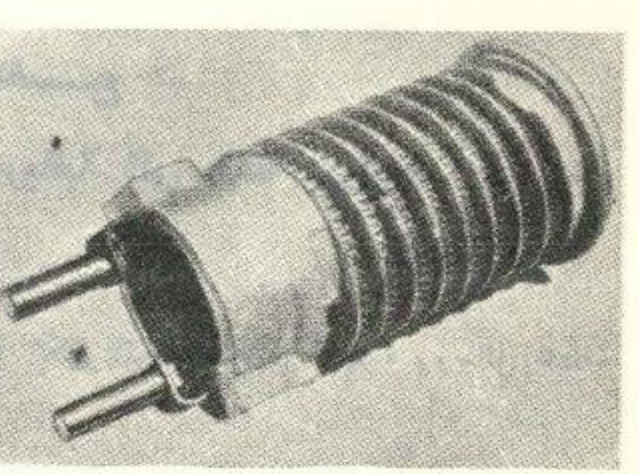
١ – باستخدام مقاومات مصنوعة من مواد ذات مقاومة عالية ، تنبعث منها حرارة عالية بمجرد مرور التيار الكهربائى فيها ، وتتناسب درجة الحرارة الناتجة تناسبا طرديا مع مربع شدة التيار المار والمقاومة النوعية للسلك المستخدم وطوله ، وتتناسب تناسبا عكسيا مع مساحة مقطع السلك . وقد سبق ذكر ذلك فى الجزء الأول من الكتاب . ويبين الشكل (١٩١) عنصر مقاومة لمسخن إشعاعى .

٢ – باستخدام القوس الكهربائى : وذلك بإمرار تيار كهربائى بين قطبى كربون بجهد مقداره حوالى ٥٥ فلط . ثم يفصل القطبان عن بعضهما البعض لمسافة مناسبة ، وبذلك يمكن الحصول على درجة حرارة تتراوح بين ٣٥٠٠ إلى ٤٠٠٠° م.وتتناسب درجة الحرارة مع شدة التيار المار بين قطبين (ويتراوح بين ١٠ ، ٢٠٠ أمبير) ، تبعا لدرجة الحرارة المطلوبة كما فى الشكل (١٩٢) .

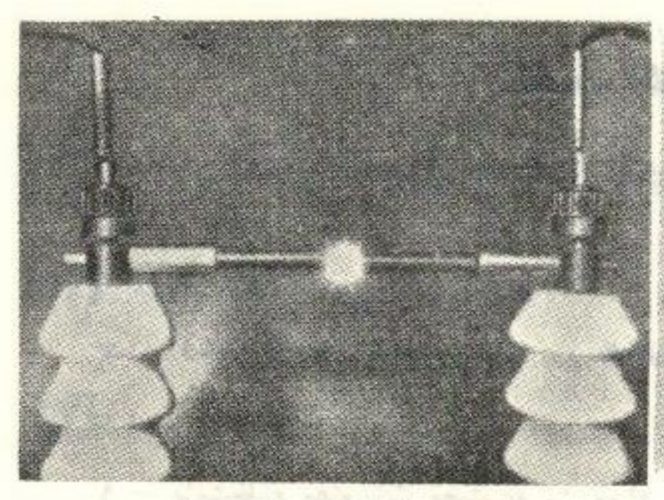
٣ – باستخدام الطرق الحثية،وذلك بتطبيق نظرية المحول . أى باستخدام محول ذى قدرة كبيرة تغذى ملفاته الابتدائية من شبكة التغذية وتقصر دائرة ملفاته الثانوية ، فيمر بها تيار ثانوى ذو شدة عالية ، يؤدى إلى توليد طاقة حرارية كبيرة . ويستخدم لهذا الغرض محول عدد لفات ملفاته الثانوية صغير ، وتكون عادة على هيئة وعاء توضع بداخله المواد أو الخامات المراد إذابتها أو صهرها أو تسخينها . ويبين شكل (١٩٣) الأساس الذى تنبنى عليه نظرية المحول الحثى .

٤ – بامتصاص الطاقة الإشعاعية . وتعتمد هذه الوسيلة على تحويل الموجات تحت الحمراء غير المرئية ، والتى يتراوح طولها بين ٨٠٠ مم و ١ مم ، إلى حرارة فى الأجسام المعرضة لهذه الإشعاعات . ويستخدم الهواء عادة كحامل للموجات الإشعاعية بين الجسم المشع والجسم المعرض لهذه الإشعاعات (الجسم المطلوب تسخينه) . ويبين شكل (١٩٤) أنواع الإشعاعات التى تنحصر

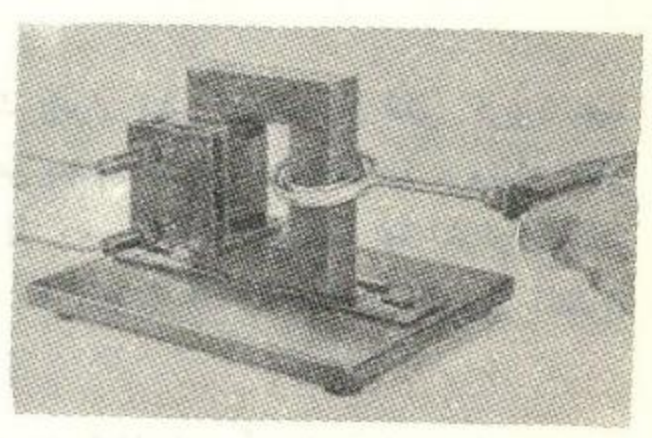
بين الموجات التى يتراوح طولها بين ٤٠٠مم و ١ مم، وأنواع الإشعاعات التى تنحصر بين الموجات التى يتراوح طولها بين ٤٠٠ مم ، ٨٠٠ مم



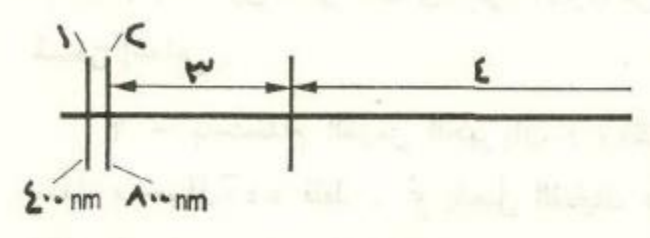
الشكل (١٩١) عنصر تسخين عبارة عن مقاومة تشع منها الحرارة



الشكل (١٩٢) قوس كهربائى ناتج من الكترودين على هيئة قضيبين بينهما ثغرة هوائية



الشكل (١٩٣) أساس عمل المحول الحثى المستخدم فى التسخين



الشكل (١٩٤) طول الموجات الذى يقع داخل حدود مدى الإشعاع تحت الأحمر

١ – الإشعاع فوق البنفسجى .
٢ – الإشعاع المرئى .
٣ – الموجات القصيرة للإشعاع تحت الأحمر
٤ – الموجات الطويلة للإشعاع تحت الأحمر .

(٧٨) المعدات المستخدمة فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية :

سنتاول بالشرح فى هذا المجال المعدات المستخدمة فى الأغراض المنزلية وبعض المعدات المستخدمة فى الصناعة والزراعة . وتعمل هذه المعدات عادة على الجهود المنخفضة العادية مثل ١١٠ فلط ، ٢٢٠ فلط .

وفيما يلى قائمة ببعض معدات التسخين المستخدمة فى الأغراض المنزلية :

نوع المعدات	متوسط قدرة الدخل
أفران تسخين كهربائية	٦٥ وات .
أفران للطهى	حتى ٥,١ ك . وات .
دفايات كهربائية	من ٥,٠ إلى ٠,١ ك . وات .
أفران خبيز	من ١ إلى ٣ ك . وات .
سخانات مغمورة صغيرة	من ٣٠٠ إلى ١٠٠٠ وات
سخانات لخزانات المياه الساخنة	٥,٠ – ٦ ك . وات .
المكاوى الكهربائية	٣٠٠ – ٦٠٠ وات .

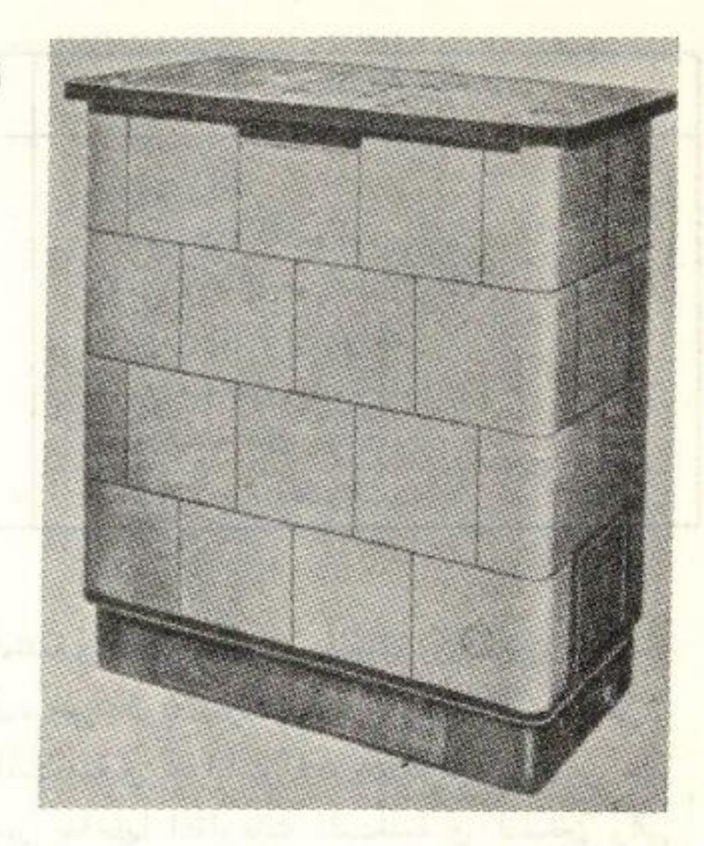
سخانات المياه المنزلية :

من المعروف أن السخانات الكبيرة المستخدمة فى تدفئة الحجرات المنزلية وفى تسخين خزانات المياه، يتم تشغيلها ليلا فى ساعات الحمل الأدنى، حتى يكون سعر استهلاك الكهرباء أقل ما يمكن . ويبين شكل (١٩٥) أحد أنواع السخانات المستخدمة فى خزانات المياه.ويتكون الخزان من مبنى من الطوب الحجرى مملوء بالماء ، وبه مواسير بداخلها المقاومات المستخدمة فى التسخين والتى يتم تشغيلها ليلا . أما أثناء النهار فترفع أغطية هذه السخانات وتخرج منها الأبخرة لتبعث الدفء فى الفراغ المحيط بها . أو تدفع المياه الساخنة فى مواسير الحجرات المختلفة أثناء الليل أو النهار لتدفئتها. وتستخدم فى هذه الخزانات أنواع مختلفة من وسائل لتحكم الكهربائية ، مثل الساعات الزمنية لتحديد ساعات تشغيل هذه المعدات ، كما تستخدم بها مبينات درجات الحرارة . وأجهزة القطع والوصل ، لتحديد درجة الحرارة المطلوبة ، وأوقات تشغيل هذه المعدات . وفيما يلى بيان بالأبعاد التقريبية لخزانات المياه الكهربائية المستخدمة فى تدفئة الحجرات ، وكذلك قدرة الدخل اللازمة لكل منها .

وتحتاج خزانات المياه الكهربائية المستخدمة فى التدفئة والتى يتراوح حجمها بين ١٠م^{3} ، ٥٠ م^{3} إلى حوالى ٨٠ وات لكل متر مكعب . أما الخزانات التى يتراوح حجمها بين ٥٠ م^{3} ، ١٠٠م^{3} فتحتاج إلى حوالى ٦٠ وات لكل متر مكعب . وتحتاج الخزانات التى يتراوح حجمها بين ١٠٠م^{3} ، ١٥٠م^{3} إلى حوالى ٤٠ وات لكل متر مكعب .

يستخدم سخان المياه المبين فى الشكل (١٩٦) وهو بقدرة دخل ٤ ك وات ، فى تدفئة حجرة أبعادها ٣م × ٤ م × ٤م لتصل درجة حرارتها إلى ٢٠°م . ومن الممكن تحديد درجة الحرارة باستخدام مبينات درجة الحرارة المزودة بأجهزة صغيرة للقطع والوصل والتحكم فى الكهرباء بحيث تظل درجة الحرارة فى نطاق حدود معينة .

وفى نظام التغذية المغلق يدخل الماء البارد عن طريق صمام خاص إلى وعاء السخان الكهربائى حيث يتم تسخين المياه . ثم يسمح للماء الساخن بالمرور إلى مواسير التدفئة عن طريق صمام آخر . ثم تعود المياه بعد ذلك إلى السخان عن طريق الصمام الأول ، وهكذا .

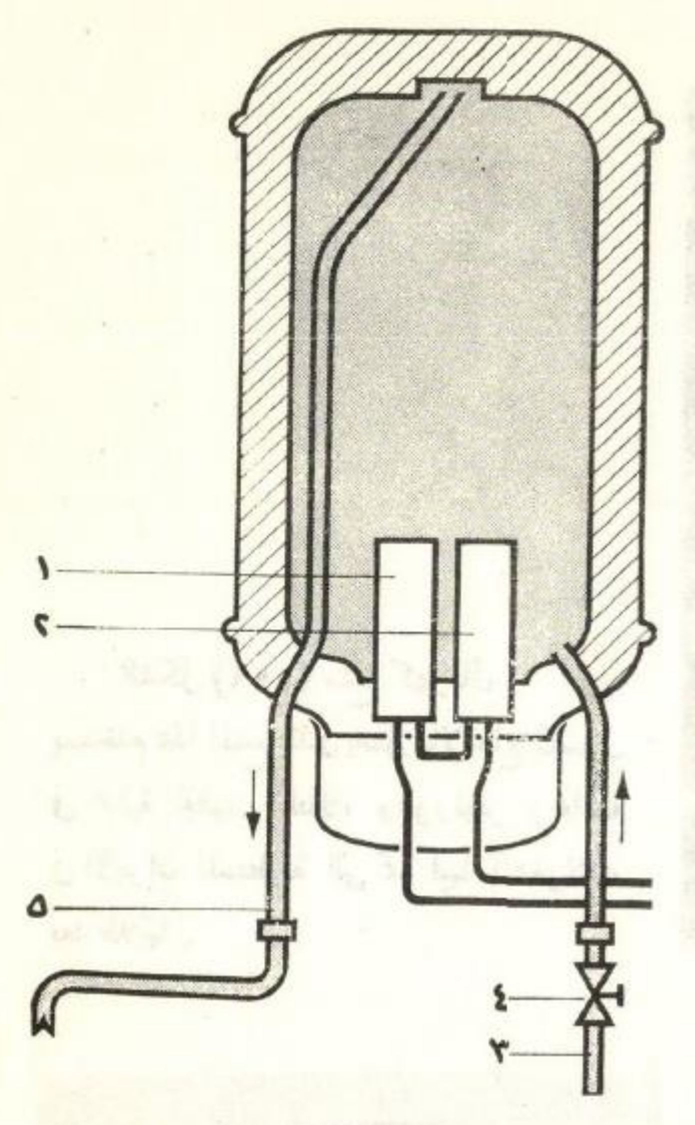


الشكل (١٩٥) خزانات المياه الساخنة .

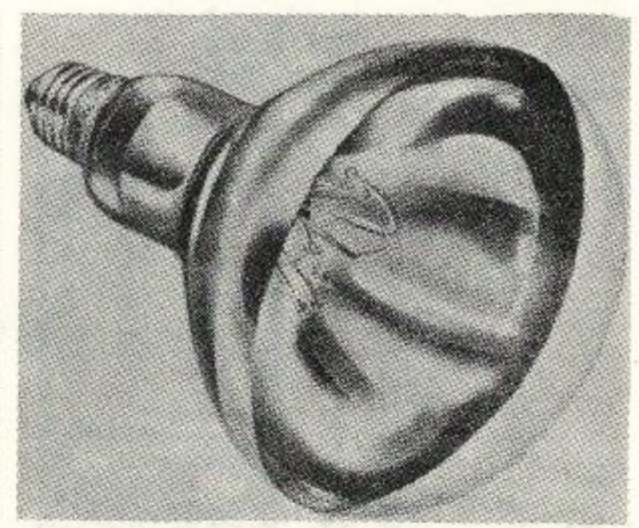
بيان بقدرة بعض معدات الاستخدام المنزلية للتدفئة أو للتسخين، وبعض المعدات المستخدمة فى الأغراض الصناعية والزراعية .

نوع المعدات	متوسط قدرة الدخل
سخانات لخزانات المياه الساخنة	٤,٥ ك .و
مشع مضىء	١٢٥ وات ، ٢٥٠ وات ، ٥٠٠ وات
فرن بالقوس الكهربائى (٣٥ طن)	١٢,٠٠٠ ك.ف .أ
فرن حثى (بمحول مقصر الدائرة الثانوية) .	١٢٠ ك.ف.أ (٥٠ ذ/ث)
فرن حرارى بمقاومات	١٠٨ ك.ف.أ (ليعطى حرارة ١٣٥٠ م°)
معدات اللحام بالمقاومة	١ ك. وات — ٣٠ ك.وات .

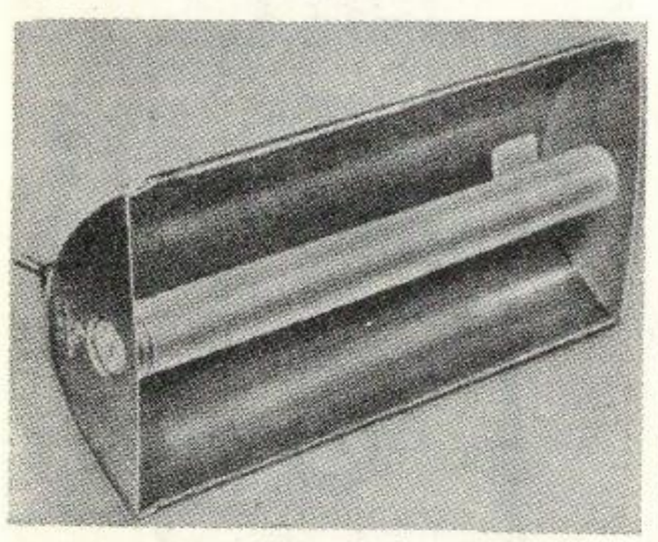
وتبين الأشكال من (١٩٧ — ٢٠١) بعض المعدات المستخدمة فى المجالات الصناعية والزراعية للتسخين والتدفئة .



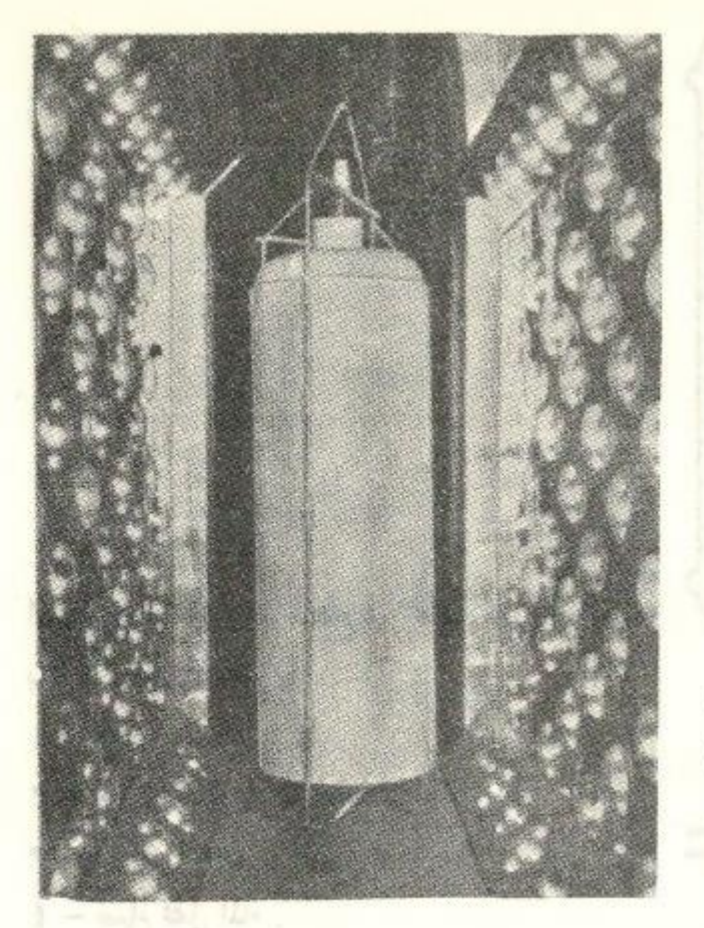
الشكل (١٩٦) رسم لمقطع فى سخان كهربائى للمياه بنظام التدفق المستمر .
١ – عنصر تسخين
٢ – جهاز تحكم فى درجة الحرارة
٣ – مواسير دخول الماء البارد .
٤ – صمام قفل الماء .
٥ – ماسورة تدفق الماء الزائد وخروج الماء الساخن .



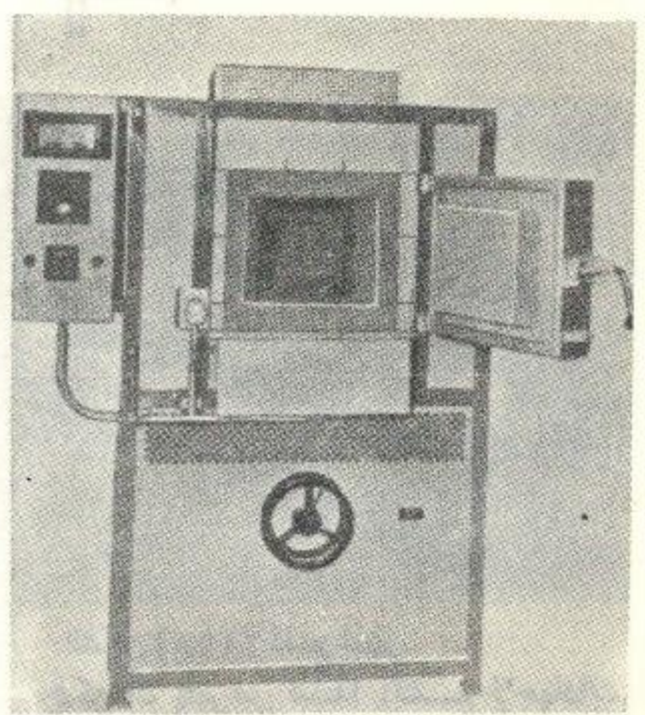
الشكل (١٩٧) مشع مضئ
فى هذا المشع تتحول حوالى ٢٪ من القدرة الداخلة للمشع إلى ضوء مرئى عند درجة حرارة ١٥٠°م. ويستخدم المشع المضئ عندما تلزم عمليتا الإضاءة والتسخين معا فى نفس الوقت . وتستخدم مثل هذه المشعات المضيئة فى حظائر تربية الحيوانات .



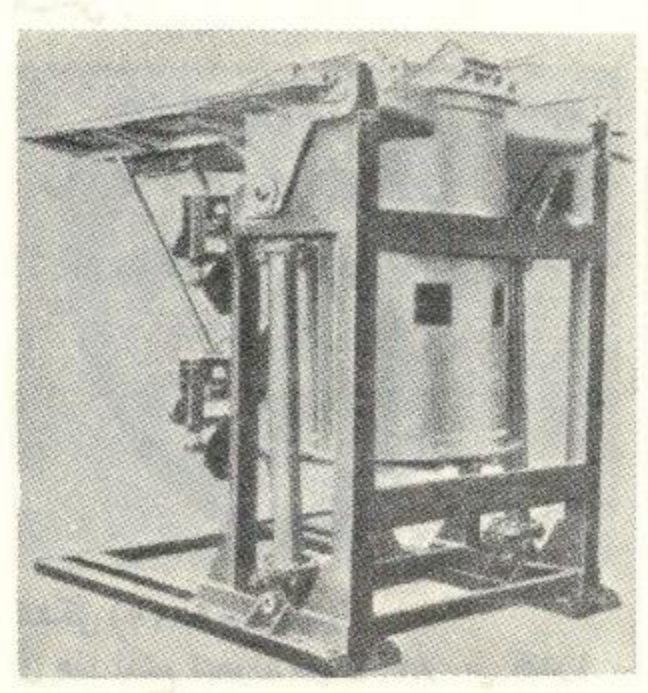
الشكل (١٩٨) المشع المظلم
يمكن أن يتعرض هذا المشع لإجهادات ميكانيكية عالية. وتصل درجة حرارته إلى ٤٥٠°م. ويستخدم فى الحالات التى لا يلزم فيها وجود إضاءة مطلقا بجانب عملية التسخين. ويستخدم فى دور السينما، وفى معامل التصوير ومصانع التجفيف .



الشكل (١٩٩) مشع كهربائى
يستخدم هذا المشع الذى يعمل بالإشعاع الضوئى فى عملية تجفيف الطلاء والورنيش وخاصة فى الأفران المستطيلة التى تمر فيها المشغولات بعد طلائها .



الشكل (٢٠٠) الأفران ذات المقاومة
تستخدم الأفران التى يتم فيها التسخين بالمقاومات فى المعاملات الحرارية للصلب (عمليات التخمير والتقسية)



الشكل (٢٠١) الأفران الحثية .
تستخدم هذه الأفران أساسا فى عمليات صهر المعادن

هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية



نظرة عامة على هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية
(هندسة التيار الضعيف)

يطلق على هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية فى بعض الأحيان اسم هندسة إرسال واستقبال الإشارات والمعلومات والبيانات بالتيار الضعيف .

ويبين شكل (٢٠٢) المراحل التى تمر بها إشارة ما ، ابتداء من نقطة إرسالها حتى نقطة استقبالها فى الطرف الآخر . وتختلف أجهزة الإرسال والاستقبال وطرق الاتصال بينها باختلاف المعلومات المراد نقلها .

فقد يكون مرسل المعلومات رجلا يتكلم فى ميكروفون ، والمستقبل رجلا آخر يتلقى هذه المعلومات بواسطة سماعة يربطها مع الميكروفون سلك موصل . وفيما يلى مثالان أحدهما لاتصال سلكى والآخر لاتصال لاسلكى :

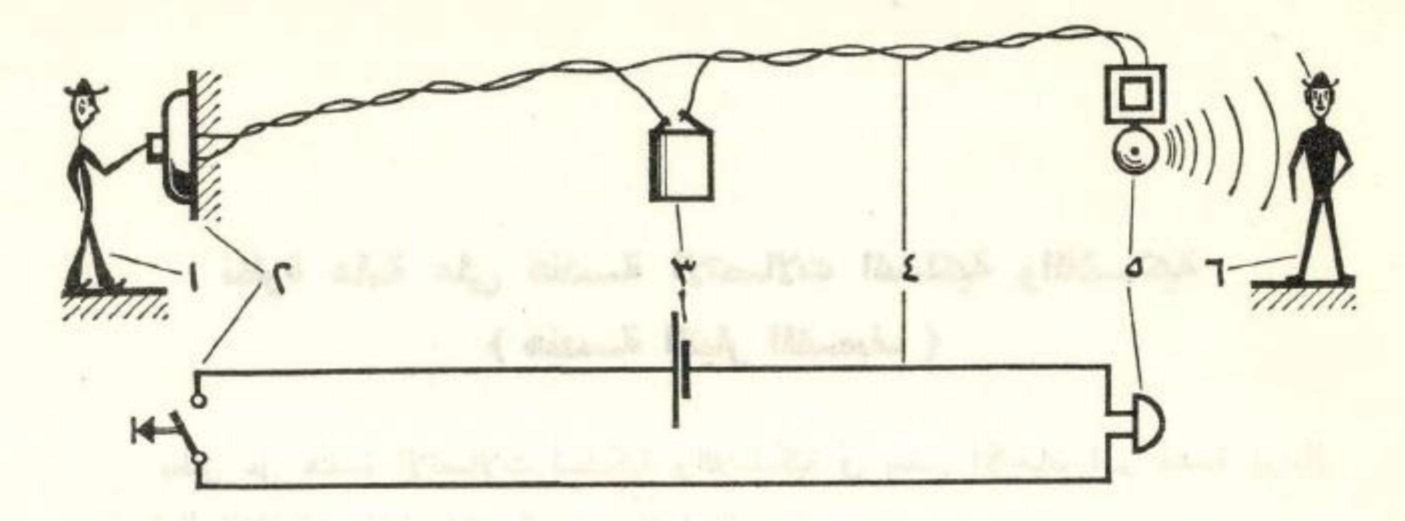
مثال للاتصال السلكى :

فى هذا المثال مرسل الإشارة عبارة عن جهاز يبين مستوى سائل فى خزان. فإذا وصل السائل فى الخزان إلى مستوى معين يقوم الجهاز بتحريك ملامس عائم موضوع عند هذا المستوى ليغلق أو يفتح دائرة إنذار ، أو يقوم بتشغيل مصباح بيان أو وسيلة رنين موضوعة فى مكان آخر . ويتم التوصيل بين الملامس ووسيلة الإنذار عن طريق سلك موصل . وبذلك يمكن نقل المعلومات التى تدل على وصول السائل إلى هذا المستوى فى الخزان من مكان إلى مكان آخر بالوسائل السلكية .

مثال للاتصال اللاسلكى :

يبين الشكل (٢٠٢) كيفية نقل المعلومات بالطرق اللاسلكية، حيث ترسل التيارات ذات التردد المنخفض الصادرة من الميكروفون أو من محطة الإرسال باستخدام جهاز إرسال يولد تيارات بتردد عال لتحمل التيارات ذات التردد المسموع المراد إرسالها بطريقة التشكيل التى سيأتى ذكرها فيما بعد . وفى أجهزة الاستقبال يتم فصل التيارات ذات التردد العالى عن التيارات ذات التردد المنخفض . ثم تحول التيارات ذات التردد المنخفض إلى معلومات أو أصوات مسموعة أو صور مرئية . . . إلخ .

وقد تتعرض الإشارات والمعلومات لتغييرات كبيرة نتيجة لقلة كفاءة أجهزة الإرسال والاستقبال أو قلة كفاءة وسائل نقل المعلومات .



الشكل (٢٠٢) شكل لسلسلة معلومات بسيطة تبين المراحل التى تمر بها عملية إرسال واستقبال المعلومات .
١ – مصدر المعلومات (نقطة إرسال المعلومات)
٢ – محول طاقة يقوم بتحويل المعلومات إلى إشارات
٣ – التيار الكهربائى الحامل للمعلومات (الإشارات)
٤ – قناة المعلومات (وسائل توصيل المعلومات) .
٥ – محول طاقة يقوم بتحويل الإشارات إلى معلومات
٦ – مستقبل المعلومات

ويقتصر هذا الجزء على شرح بعض الأجهزة المستخدمة فى مجال هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية (بالتيار الضعيف) ، مثل :

١ – أجهزة تحويل المعلومات الضوئية أو الصوتية أو الميكانيكية أو الحرارية إلى إشارات كهربائية ، والعكس .

٢ – أجهزة إرسال الإشارات الكهربائية .

٣ – أجهزة استقبال الإشارات الكهربائية وتحويلها إلى معلومات صوتية أو ضوئية ... إلخ.

٤ – وسائل الاتصال بين أجهزة الإرسال وأجهزة الاستقبال مع شرح لوسائل التحكم فى الإشارات وتضخيمها .

ومن المعروف أنه يوجد العديد من الأجهزة التى تقوم بتحويل المعلومات أو التغيرات فى أنواع الطاقة إلى إشارات كهربائية بتيار ضعيف ، والعكس . ويطلق على هذه الأجهزة اسم «محولات الطاقة . وتدل كلمة محول طاقة على أنه جهاز يحول نوع من الطاقة إلى نوع آخر . وتنقسم هذه الأجهزة إلى :

أولا : أجهزة لتحويل المعلومات أو التغيرات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية .
ثانياً : أجهزة لتحويل المعلومات أو التغيرات الحرارية إلى إشارات كهربائية .
ثالثاً : أجهزة لتحويل المعلومات أو التغيرات الضوئية إلى إشارات كهربائية .
رابعاً : أجهزة لتحويل المعلومات أو التغيرات الصوتية إلى إشارات كهربائية .

وبنفس التصنيف السابق توجد أجهزة لتحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات ميكيانيكية أو حرارية أو ضوئية أو صوتية .

البـــاب الأول

اجهزة تحويل المعلومات
الميكانيكية او الحرارية او الضوئية او الصوتية
الى اشارات كهربائية

أولا : أجهزة تحويل المعلومات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية :

(١) مفاتيح التلامس :

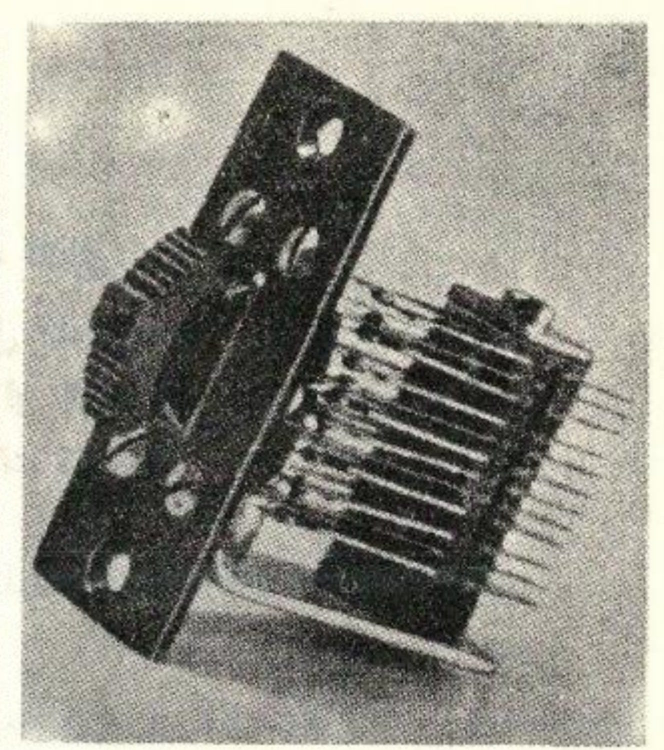
يوجد عدد كبير جداً من الأجهزة المستخدمة فى تحويل المعلومات أو التغيرات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية . وقد شرحنا بعض هذه الأجهزة فى مجال هندسة القوى الكهربائية . ومن أمثلة الأجهزة التى تقوم بتحويل المعلومات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية : مفاتيح التلامس ، ومعدات القطع والوصل ، ومفاتيح التحكم . . . إلخ ، ولا تختلف مفاتيح التلامس المستخدمة فى هندسة التيار الضعيف عن تلك المستخدمة فى هندسة القوى ، سواء فى الأداء أو التصميم ، وإنما تتميز المفاتيح المستخدمة فى هندسة التيار الضعيف بخفة وزنها وصغر حجمها ودقة صنعها . وتزود مفاتيح التلامس عادة بعدة ملامسات دقيقة يمكن عن طريقها تحويل التغير فى أى حركة ميكانيكية لآلة أو أداة إلى قفل أو فتح هذه الملامسات . وتقوم الملامسات بدورها بتشغيل دوائر التحكم الكهربائية .

ويبين شكل (٢٠٣) أحد أنواع هذه المفاتيح . وقد أدخل على هذه المفاتيح العديد من التحسينات التى أدت إلى تصنيع المفاتيح الميكرومترية الدقيقة التى انتشر استخدامها على نطاق واسع فى هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية . وتتميز هذه المفاتيح الميكرومترية بسهولة تشغيلها لوجود يايات محملة تسهل عملية قفل وفتح الملامسات وتقليل الوقت الذى تستغرقه المفاتيح فى تشغيل الدوائر الكهربائية :

ومن أنواع مفاتيح التلامس :

(أ) مفاتيح التحكم فى برنامج تشغيل الماكينة :

يمكن التحكم فى برنامج تشغيل الماكينة باستخدام محرك كهربائى صغير ، يقوم بإدارة قرص له شكل خاص (كامة) . ويعمل هذا القرص على قفل وفتح بعض ملامسات نوع من مفاتيح التلامس بترتيب معين لتتم على الماكينة عمليات إنتاج متتالية تبعاً لتسلسل سبق تحديده .

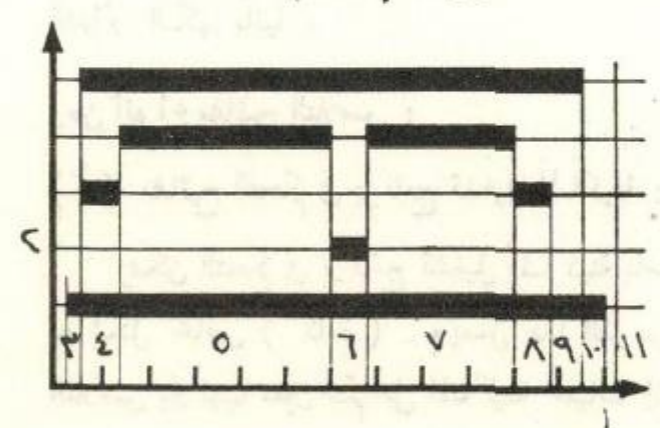


الشكل (٢٠٣) عنصر تحكم عبارة عن مفتاح بملامسات متعددة يستخدم كمحول طاقة

الشكل (٢٠٤) عنصر تحكم يمكن بواسطته تنفيذ برنامج لعدد من عمليات التشغيل بطريقة أتوماتيكية. وهو عبارة عن مفتاح بملامسات متعددة. ويعمل بواسطة كامة ومحرك كهربائى صغير .

الشكل (٢٠٥) رسم تخطيطى يبين تتابع عمليات الوصل والفصل لتنفيذ برنامج معين لعدد من عمليات التشغيل على المخرطة :

١ – المحور الزمنى (الوقت بالدقائق) .
٢ – العملية الأولى : الإمساك بالقطعة المراد تشغيلها .
٣ – العملية الثانية : تحريك القطعة إلى اليمين بسرعة .
٤ – العملية الثالثة : تحريك عمود الإدارة .
٥ – العملية الرابعة : حركة تغذية قلم المخرطة .
٦ – العملية الخامسة : تحريك القطعة بسرعة إلى اليسار .
٧ – العملية السادسة : حركة تغذية قلم المخرطة .
٨ – العملية السابعة : تحريك القطعة بسرعة إلى اليمين .
٩ – العملية الثامنة : عملية إيقاف القطعة فى أقصى اليمين .
١٠ – العملية التاسعة : إيقاف حركة عمود الإدارة .
١١ – العملية العاشرة : فك القطعة من وسيلة الإمساك بها .



ويبين الشكل (٢٠٤) أحد مفاتيح التلامس التى يمكن استخدامها، بحيث نحصل على تسلسل لعمليات التشغيل طبقاً للرسم البيانى الموضح بالشكل (٢٠٥) . وفيه يظهر لحظة ابتداء وانتهاء كل عملية ، والوقت الذى ينقضى بين كل عمليتين متتاليتين .

(ب) مفاتيح بيان الوضع النهائى :

تستخدم مفاتيح بيان الوضع النهائى للتحكم فى حركة أى آلة أو أداة . أو تحديد مستوى السوائل ، أو تحديد الضغط فى حيز مقفل ، ومن أمثلة هذا النوع من المفاتيح :

- العوامة ذات الملامسات التى تقوم بفتح الدائرة الكهربائية للمحرك الذى يدفع المضخة إذا وصل السائل فى الخزان إلى حد معين .
- مبينات أعلى ضغط أو أعلى درجة حرارة تعتبر أيضاً ضمن مفاتيح بيان الوضع النهائى .
- مفاتيح الوضع النهائى المستخدمة فى ماكينات التشغيل والمصاعد الكهربائية المبينة بالشكل (٢٠٦) . يضبط المفتاح فى وضع معين بحيث لا يتعداه قلم الخرطة مثلا . فإذا وصل القلم إلى هذا الوضع فإنه يقوم بتشغيل المفتاح لفتح دائرة محرك الخرطة وإيقافها . كما يستخدم أيضاً فى المصاعد للتحكم فى الوضع النهائى الذى يمكن أن يصل إليه المصعد . فعندما تصل كابينة المصعد إلى هذا الوضع يقوم بتشغيل المفتاح لفتح دائرة المصعد حتى لا تتعدى الكابينة هذا الوضع .
- مفتاح ضوء الإيقاف فى السيارة يعتبر أيضاً مفتاحا لبيان الوضع ، حيث يعمل المفتاح عندما يتحرك بدال الفرملة . ويصل إلى وضع معين .
- المفاتيح المبينة فى شكل (٢٠٧) والمستخدمة فى تحويل المعلومات إلى إشارات كهربائية . وفيها تعمل الملامسات تلقائياً بواسطة مغنطيس تؤدى حركته للأمام أو للخلف إلى فتح أو قفل الملامسات . ويمتاز هذا النوع من المفاتيح بأن مشوار حركة ملامساته صغير جداً لا يتعدى ١,١ مم ، والقوة اللازمة لتشغيله صغيرة .

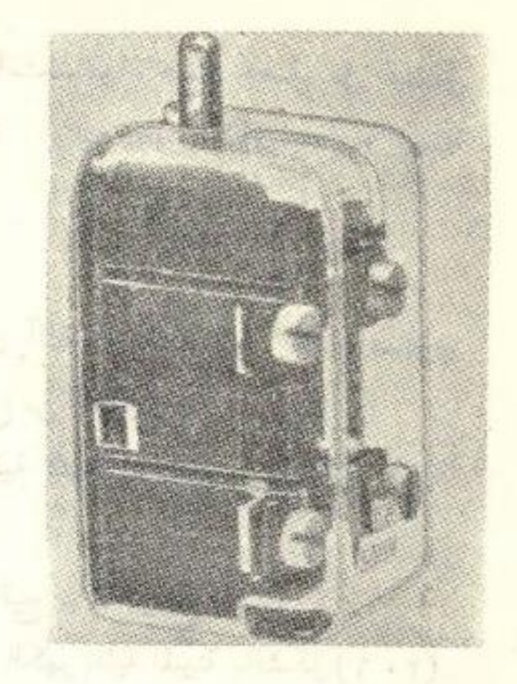
ثانيا : أجهزة تحويل المعلومات الحرارية إلى إشارات كهربائية :

يطلق على أجهزة تحويل المعلومات الحرارية إلى إشارات كهربائية اسم « الوسائل الكهرحرارية » ومن أمثلة الوسائل الكهرحرارية :

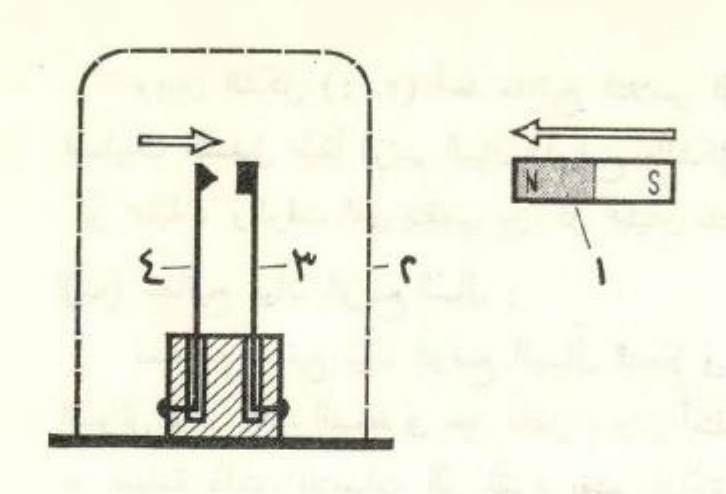
المزدوج الحرارى – الترمومتر الزئبقى – المفتاح ثنائى المعدن – مفاتيح التحكم فى الحرارة .

(٢) المزدوج الحرارى :

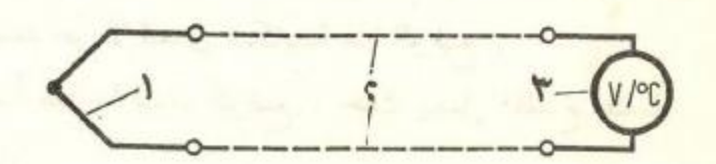
يتكون المزدوج الحرارى من قضيبين من معدنين مختلفين يوصل طرفاهما توصيلا تاماً عند نقطة يطلق عليها عادة اسم « نقطة التوصيل » فإذا سخنت هذه النقطة فإنه ينشأ عبر الطرفين الآخرين للقضيبين قوة دافعة كهربائية يطلق عليها اسم « القوة الدافعة الكهرحرارية » . وتستخدم هذه القوة الدافعة فى تحويل المعلومات الحرارية إلى جهد يتناسب فى قيمته مع درجة حرارة نقطة التوصيل . ويبين الشكل (٢٠٨) رسماً تخطيطياً لدائرة مزدوج حرارى .



الشكل (٢٠٦) مفتاح بيان الوضع النهائى



الشكل (٢٠٧) أساس عمل المفتاح المغنطيسى
١ – مغنطيس التشغيل .
٢ – غطاء واق للمصباح .
٣ – ملامس ثابت غير مغنطيسى
٤ – الملامس المغنطيسى المتحرك



الشكل (٢٠٨) رسم تخطيطى يبين أساس عمل المزدوج الحرارى
١ – مزدوج حرارى
٢ – خطوط التوصيل (أسلاك التوصيل)
٣ – وسيلة القياس المستخدمة لبيان درجات الحرارة

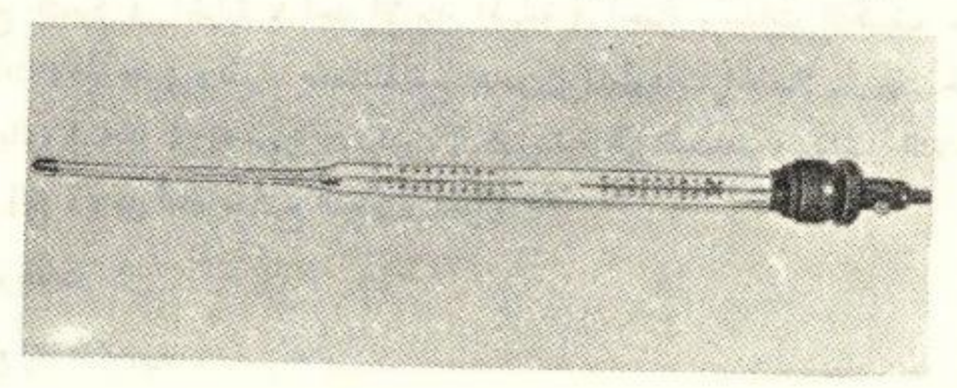
ومن المعروف أن هناك علاقة بين درجة حرارة نقطة التوصيل وبين الجهد المتولد ، ونوع المعادن المستخدمة فى المزدوج الحرارى . وفيما يلى بعض المزدوجات الحرارية الشائعة الاستعمال ، ودرجات الحرارة القصوى التى يصلح أن تستخدم فيها ، والجهد الأقصى المتولد :

نوع المزدوج الحرارى	درجة الحرارة القصوى	الجهد الأقصى المتولد
نحاس أحمر – كونستنتان	٥٠٠	٢٨
حديد – كونستنتان	٨٠٠	٤٧
نيكل – نيكل كروم	١٢٠٠	٤٢
بلاتين – بلاتين روديوم	١٦٠٠	١٧

ومن مميزات المزدوجات الحرارية ، تحويل المعلومات الحرارية إلى إشارات كهربائية يمكن إرسالها إلى مسافة بعيدة . وتستخدم هذه المزدوجات لبيان درجات الحرارة داخل الأفران . حيث توضع بداخلها ، وينقل الجهد المتولد إلى أجهزة البيان الموجودة خارج الفرن ، فيترجم مرة أخرى إلى درجات حرارة . ولحماية المزدوجات الحرارية : ولضمان دقة قراءتها ، يفضل وضعها فى أنابيب معدنية مبطنة بمواد عازلة تصمد لدرجات الحرارة المرتفعة . ولضمان عدم تغير قيمة الجهد الكهرحرارى الصغير المتولد فى هذه المزدوجات ، يجب أن تتم التوصيلات الكهربائية بطريقة سليمة لا تؤدى إلى انخفاض ملموس فى الجهد . ومن ثم يجب ألا تزيد مقاومة المواد المستخدمة فى التوصيل بين المزدوج الحرارى وأجهزة القياس عن أوم واحد .

(٣) الترمومتر الزئبقى ذو الملامسات :

يمكن استخدام تمدد الزئبق الموجود فى الترمومتر نتيجة لارتفاع درجة الحرارة فى تحويل المعلومات الحرارية إلى معلومات كهربائية . فإذا وضعت ملامسات دائرة إنذار أو أى دائرة كهربائية داخل أنبوبة الترمومتر ، عند درجة حرارة معينة ، فإن تمدد الزئبق ووصوله إلى هذه الدرجة يؤدى إلى قفل الملامسات ، وبالتالى إلى تشغيل دائرة الإنذار أو الدائرة الكهربائية . ويبين الشكل (٢٠٩) نوعاً من أنواع الترمومترات الزئبقية ذات الملامسات .



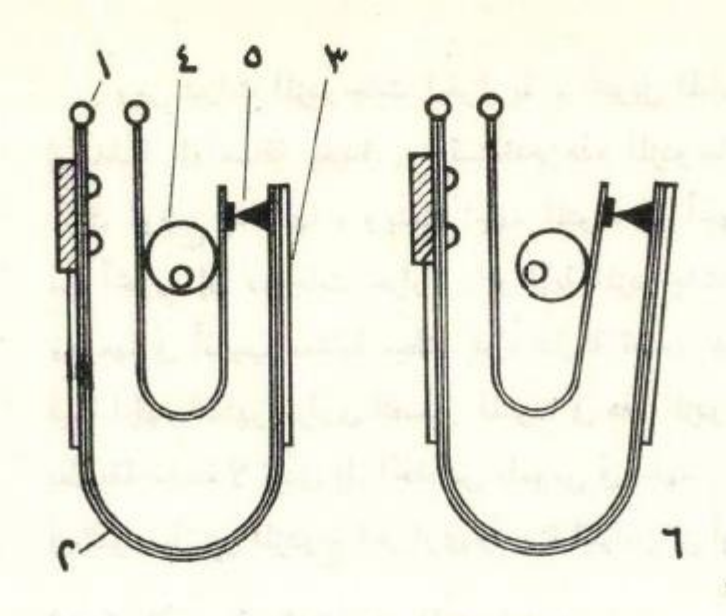
الشكل (٢٠٩) ترمومتر التلامس

(٤) المفتاح ثنائى المعدن :

يقوم المفتاح الثنائى المعدن بنفس العمل الذى يقوم به الترمومتر الزئبقى ذو الملامسات . إلا أنه يعمل بعد فترة زمنية معينة ابتداء من لحظة وصول درجة الحرارة إلى الدرجة المعينة التى سبق تحديدها ، أى أنه لا يعمل لحظياً .

طريقة عمل المفتاح ثنائى المعدن :

يتكون المفتاح الثنائى المعدن من قطعتين رقيقتين من معدنين مختلفين لصقا معاً لصقاً تاماً . وعندما يتعرض المفتاح لدرجة حرارة مرتفعة فإن القطعتين المعدنيتين تتمدان فى اتجاه معين تحت تأثير الحرارة وتدفعان أمامهما قرصاً لا مركزيا . ويقوم القرص بقفل ملامسات دوائر الإشارة الكهربائية .



الشكل (٢١٠) أساس عمل المفتاح ثنائى المعدن
١ – نقطة التوصيل
٢ – زنبرك صلب على شكل حرف U
٣ – رقائق ثنائية المعدن
٤ – قرص لا مركزى
٥ – ملامسات
٦ – مفتاح ثنائى المعدن مضبوط بحيث يعمل فى المدى بين درجتى حرارة قصوى سبق تحديدهما.

ويوضح شكل (٢١٠) فكرة عمل المفتاح ثنائى المعدن ، الذى يمكن استخدامه فى نقل المعلومات الحرارية ، وإجراء ضبط درجات الحرارة بين ٤٠° ، ٩٠° م .

(٥) مفاتيح التحكم فى الحرارة :

تعتبر مفاتيح التحكم فى الحرارة ، أحد الأجزاء الهامة فى أجهزة ومعدات التكييف ، وفى الثلاجات والدفايات وغيرها . وتقوم هذه المفاتيح بتحويل المعلومات الخاصة بدرجة الحرارة إلى إشارات كهربائية للتحكم فى الأجهزة والمعدات الكهربائية التى تستخدم فى تشغيل الثلاجات أو الدفايات . . . إلخ ، ومن أمثلة مفاتيح التحكم فى الحرارة :

(ا) الترموستات :
(ب) مفتاح بمعدن صهور .
(ج) المفتاح الفرقى .

(أ) الترموستات :

يتكون الترموستات فى أبسط صوره من أسطوانة صغيرة الحجم مغطاة بإحكام بغشاء لين ، وتحتوى على سائل سهل التبخر .

فإذا ارتفعت درجة حرارة الثلاجة أو جهاز التدفئة عن حد معين يبدأ السائل فى التمدد داخل الأسطوانة ويضغط على الغشاء اللين الذى يدفع أمامه ملامسات مفتاح التلامس . ويؤدى ذلك إما إلى غلق الملامسات الخاصة بدائرة محرك الثلاجة لتشغيلها ، أو يؤدى إلى فتح ملامسات المقاومات الحرارية فيفصل التيار عنها . وعندما تقل درجة الحرارة ينخفض الضغط داخل الأسطوانة ويعود الغشاء اللين إلى مكانه الأصلى ، وبذلك تعود دوائر التحكم إلى حالتها الأصلية .

(ب) مفتاح بمعدن صهور :

تتكون هذه المفاتيح من شرائح معدنية ملحومة معاً من أحد أطرافها بمعدن قابل للانصهار عند درجة حرارة معينة . وهذه الشرائح المعدنية واقعة تحت ضغط ميكانيكى مثل ضغط ياى مثلا . وعندما ترتفع درجة الحرارة إلى الدرجة التى ينصهر عندها المعدن الذى يلحم هذه الشرائح ، فإن الياى يدفع هذه الشرائح فى اتجاهات معينة لتقوم بغلق دوائر التحكم الكهربائية لتشغيل أو إبطال الأجهزة أو المعدات الكهربائية المستخدمة فى الأفران والدفايات . . . إلخ ، أى أن هذه المفاتيح تترجم درجة الحرارة إلى معلومات أو إشارات كهربائية، أى تعمل كمحول للطاقة . ويبين الشكل (٢١١) كيفية عمل أحد هذه المفاتيح .

(ج) المفتاح الكهربائى الفرقى :

تتميز هذه المفاتيح بأنها لا تتأثر بالارتفاع التدريجى لدرجة الحرارة المحيطة ، فهى حساسة فقط للارتفاع المفاجئ فى درجة الحرارة .

ويوضح شكل (٢١٢) فكرة المفتاح الكهربائى الفرقى . ويتكون عادة من أنبوبة زجاجية على شكل حرف (U) ، تحتوى على زئبق وإيثانول . وتمتاز هذه الأنابيب بأن جدار أحد أذرعها أكبر تخانة من جدار الذراع الأخرى . فإذا ارتفعت درجة الحرارة المحيطة بصورة فجائية (بمعدل سريع) فإن الإيثانول الموجود فى الذراع ذات الجدار الرقيق يتبخر قبل أن يتمدد الإيثانول الموجود فى الجدار السميك ، ويضغط على الزئبق ، الذى يندفع إلى ذراع الأنبوبة السميكة ويبعد تماماً عن الملامسات ، ويؤدى ذلك إلى فتح الدائرة الكهربائية . أما إذا ارتفعت درجة الحرارة المحيطة بالمفتاح بصورة تدريجية فإن الإيثانول الموجود فى كلا الذراعين يتبخر بنفس النسبة مما يؤدى إلى وجود توازن فى الضغط الواقع على الزئبق فى الذراعين ، فيبقى الزئبق فى مكانه موصلا بين الملامسات . لذلك يستخدم المفتاح الكهربائى الفرقى لفتح الدوائر الكهربائية عند حدوث ارتفاع مفاجئ فى درجة الحرارة ، كما فى حالة أجهزة الوقاية أو الإنذار ضد الحرائق .

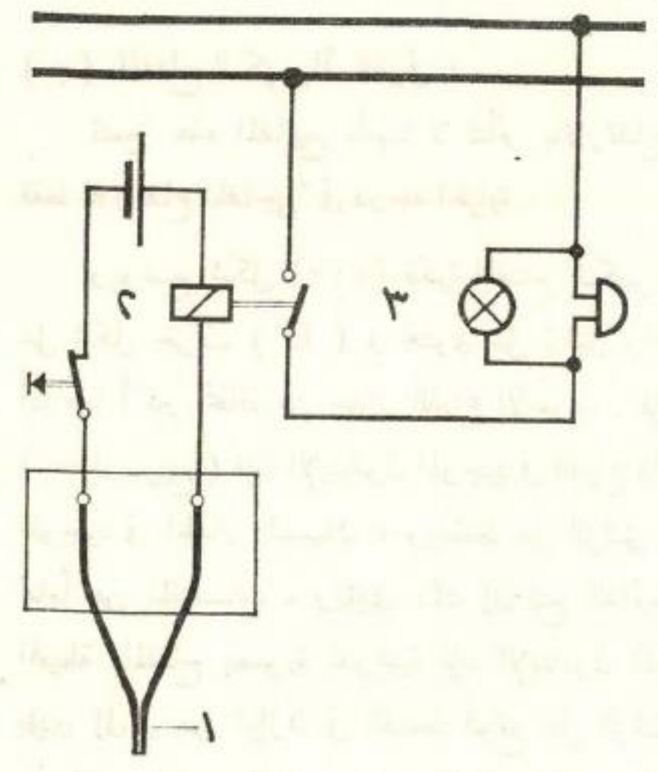
ثالثا : أجهزة تحويل المعلومات الضوئية إلى إشارات كهربائية :

تنبنى فكرة تصميم هذه الأجهزة على أن الطاقة الضوئية يمكنها التأثير على بعض المواد ، وبالأخص الفلزات القلوية كالكالسيوم والبوتاسيوم . فإذا تعرضت هذه المواد للضوء (وخاصة الضوء قصير الموجة) تنبعث منها إلكترونات أو شحنات كهربائية . وتسمى هذه الظاهرة « الانبعاث الكهرضوئى » . وتنقسم المواد المستخدمة فى أجهزة تحويل المعلومات الضوئية إلى إشارات كهربائية إلى نوعين :

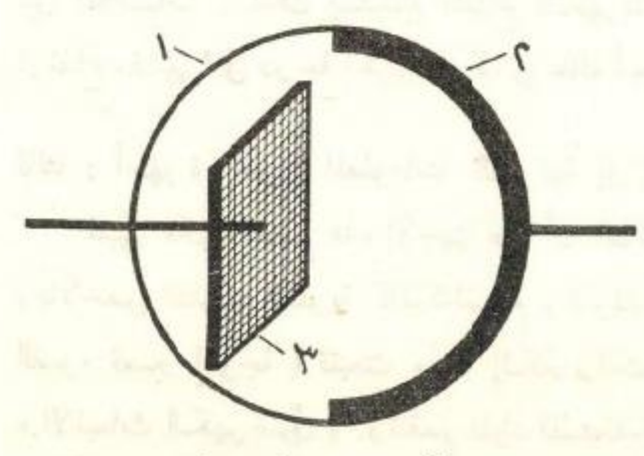
(أ) مواد يؤدى سقوط الضوء عليها إلى انبعاث الإلكترونات (الشحنات الكهربائية) للخارج ، مثل الفلزات والأجسام الصلبة كالصوديوم والكالسيوم . . . إلخ . ويطلق

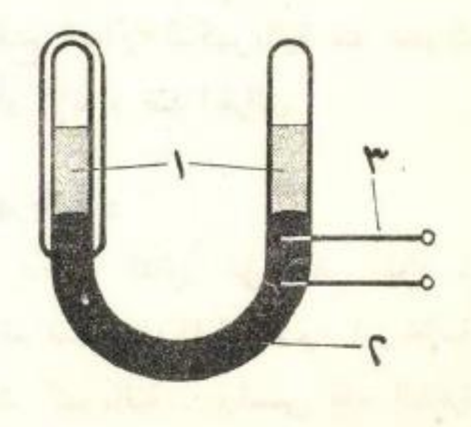
على هذه الظاهرة « الانبعاث الكهرضوئى الخارجى » . ويمكن استخدام هذه الإلكترونات فى تشغيل دوائر التحكم الكهربائية . ومن أكثر محولات الطاقة انتشاراً والتى تستخدم فيها هذه الظاهرة « الخلية الضوئية » .

(ب) مواد – مثل أشباه الموصلات – لا ينبعث منها إلكترونات للخارج عند تعرضها للضوء ، وإنما يؤدى سقوط الضوء عليها إلى تغيير حركة الإلكترونات فيها داخلياً مما يقلل المقاومة النوعية الداخلية لهذه المواد وخاصة فى اتجاه معين . ومن أمثلة هذه المواد كبريتيد الكادميوم، وكبريتيد الرصاص ويطلق على هذه الظاهرة « الانبعاث الكهرضوئى الداخلى » . ومن أكثر محولات الطاقة انتشاراً والتى تستخدم فيها هذه الظاهرة «المقاومات الضوئية أو العناصر الكهرضوئية».



الشكل (٢١١) أساس عمل المفتاح
١ – مفتاح مصنوع من معدن قابل للانصهار
٢ – دائرة مقفلة بواسطة مرحل
٣ – دائرة إنذار بجرس ومصباح بيان





الشكل (٢١٢) أساس عمل المفتاح الفرقى
١ – إيثانول ٣ – الملامسات
٢ – زئبق

الشكل (٢١٣) أساس عمل الخلية الكهرضوئية
١ – الوعاء الزجاجى ٣ – الأنود
٢ – الكاثود

(٦) الخلية الكهرضوئية (الانبعاث الكهرضوئى الخارجى) :

يبين شكل (٢١٣) الفكرة التى ينبنى عليها تصميم الخلية الكهرضوئية . وتتكون الخلية من كاثود وأنود موضوعين داخل انتفاخ زجاجى مفرغ ، فيها الكاثود عبارة عن سطح معدنى مغطى من الداخل بطبقة من معدن قلوى حساس للضوء ، مثل الصوديوم أو البوتاسيوم . وأما الأنود فعبارة عن لوح معدنى مثبت أمام السطح الحساس، بحيث يلتقط أكبر عدد من الإلكترونات المنبعثة من الكاثود .

طريقة عمل الخلية الضوئية :

عند توصيل الخلية الكهرضوئية فى دائرة كهربائية ويوصل معها على التوالى مقياس حساس لقياس شدة التيار ، يلاحظ مرور تيار إلكترونى (تيار ضعيف) فقط فى الفترة التى تتعرض فيها الخلية للضوء . ويتوقف مقدار التيار المار على شدة الإشعاع الساقط على الخلية . ويمكن استخدام الخلايا الضوئية من هذا النوع فى فتح أو غلق الأبواب بطرق آلية كلما سقط الضوء على الخلية ، أو كلما قطع عنها ، كما تستخدم فى حماية الخزائن والبنوك من السطو عليها ، حيث تقوم بتحويل المعلومات الخاصة بانقطاع الضوء إلى إشارات كهربائية تستخدم فى تشغيل أجهزة الإنذار . كذلك فإنها تستخدم فى أجهزة الرؤية والأفلام الناطقة .

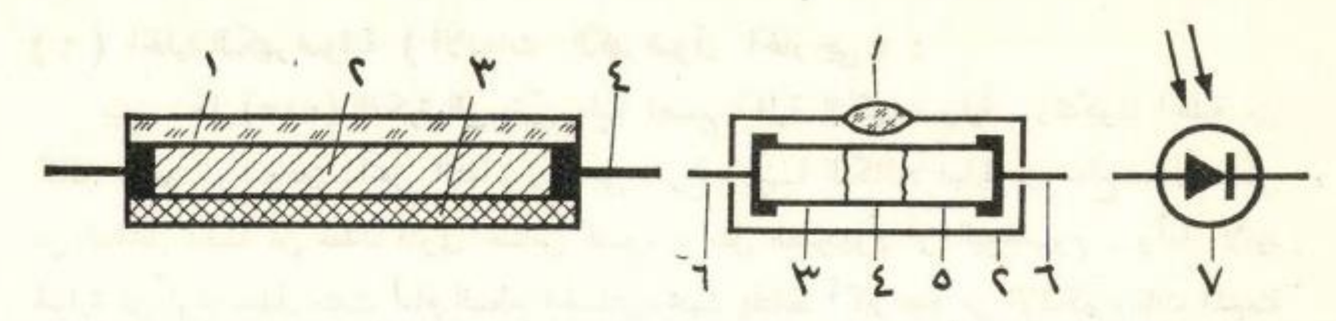
(٧) العناصر الكهرضوئية (الانبعاث الكهرضوئى الداخلى) :

يبين شكل (٢١٤) الفكرة التى ينبنى عليها العنصر الكهرضوئى باستخدام المواد شبه الموصلة الناتجة من تآلف السيلينيوم كادميوم . وتستخدم هذه العناصر فى أجهزة قياس وتنظيم شدة الإضاءة . وقد أدى استخدام مركبات السيليكون إلى تطوير وتعميم هذه الفكرة، بحيث أمكن استخدام العنصر الكهرضوئى السيليكونى كمصدر للتيار الضعيف المستخدم فى الأقمار الصناعية ، وفى التسجيل الضوئى للصوت على الأفلام .

وتستخدم ظاهرة الانبعاث الكهرضوئى الداخلى للمواد شبه الموصلة فى الأمن الصناعى ، وذلك لقياس كمية الموجات فوق البنفسجية المنتشرة فى الجو ، كما تستخدم فى أجهزة فرز وعد النقود .

وتعتمد طريقة تشغيل العناصر الكهرضوئية على اختيار مواد معينة تتغير مقاومتها النوعية عند تعرضها للضوء . حيث تتحرك الإلكترونات داخل هذه المواد فى اتجاه معين نتيجة للتأثير الكهرضوئى الداخلى .

ويبين شكل (٢١٥) كيفية مرور التيار فى طبقة من مادة كبريتيد الكادميوم أو كبريتيد الرصاص عند تعرضها للضوء . وحيث أن مقاومتها النوعية تتغير تبعاً لشدة الإضاءة الساقطة عليها ، فإن ذلك يؤدى إلى زيادة شدة التيار المار بالدائرة الموصل بها هذه المواد . أى تتناسب شدة التيار المار بها تناسباً طردياً مع شدة الإضاءة الساقطة عليها .وبذلك يمكن تحويل المعلومات الضوئية إلى إشارات كهربائية يمكن قياسها . لذلك تستخدم هذه المواد أساساً فى قياس الشدة الضوئية .



الشكل (٢١٤) أساس عمل العنصر الكهرضوئى

١ – عدسات محدبة

٢ – غلاف واق

٣ – بلورات طراز (P) الموجبة التوصيل

٤ – الطبقة الحاجزة (الطبقة الفاصلة بين نوعى البلورتين)

٥ – بلورات طراز (N) السالبة التوصيل

٦ – نهايات التوصيل

٧ – رمز تخطيطى .

الشكل (٢١٥) شكل تخطيطى لمقاومة حساسة للضوء

١ – غلاف شفاف

٢ – طبقة من كبريتيد الكادميوم

٣ – الجسم الموصل (حامل الشحنات)

٤ – نهايات التوصيل .

(٨) الصمامات المستخدمة فى نقل الصور (الإرسال التليفزيونى) :

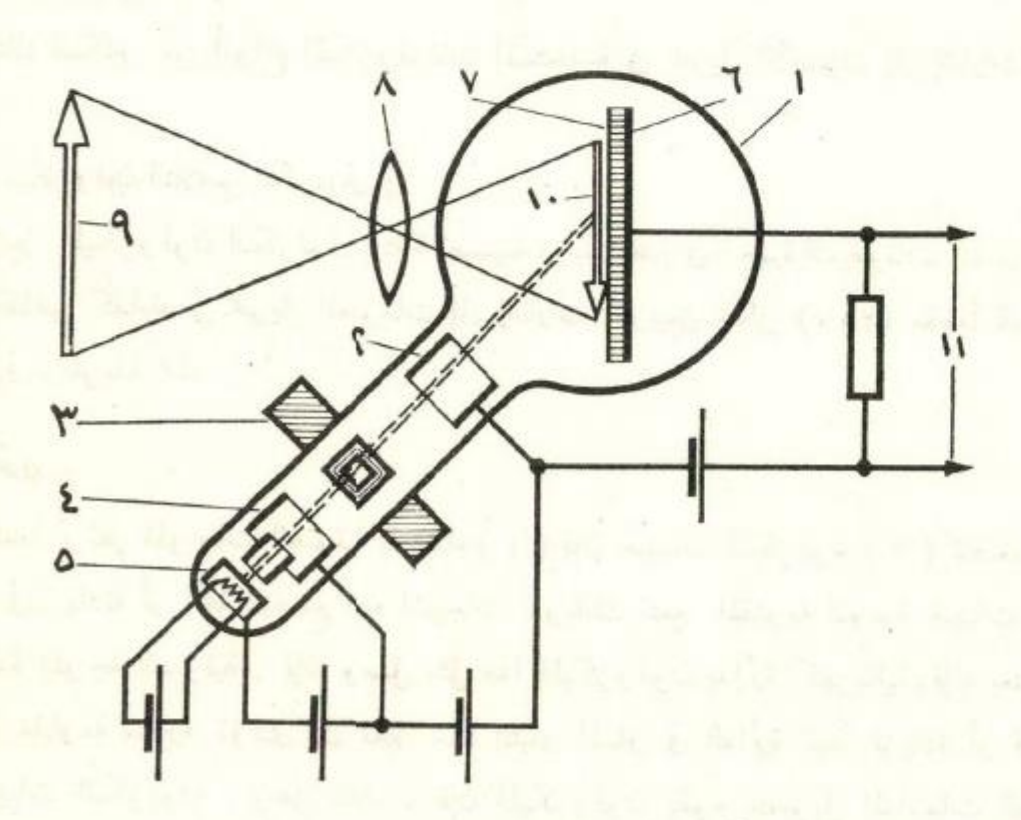
يمكن استخدام أنابيب الأشعة الكاثودية فى عملية تحويل المعلومات الضوئية إلى إشارات كهربائية ، كما يمكن استخدامها فى تحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات ضوئية . وقد أدخل على أنابيب الأشعة الكاثودية الكثير من التحسينات ، بحيث أمكن استخدامها فى عملية الإرسال والاستقبال التليفزيونى . وأهم أنابيب الأشعة الكاثودية هو الإيكونوسكوب .

ويبين شكل (٢١٦) رسماً تخطيطياً للفكرة التى ينبنى عليهـا تصميم الإيكونوسكوب .

طريقة عمل الايكونوسكوب :

يوضع الجسم المراد نقل صورته (٩) خارج أنبوبة الإيكونوسكوب، وتوضع بين الجسم والأنبوبة عدسات (٨) ذات كفاءة عالية ، وعند تسليط الضوء على الجسم تقوم العدسات بإسقاط صورة ضوئية مطابقة تماماً للجسم فى داخل الأنبوبة على الشاشة (٦) الموجودة داخل أنبوبة الإيكونوسكوب (١) . وتسمى الشاشة فى بعض الأحيان « حاجز الموزايك » . وهذه الشاشة عبارة عن مكثف يتكون من لوح من الميكا يلاصق سطحه الخلفى لوحا معدنيا لامعا ويوجد على سطحه الأمامى ملايين من الخلايا الضوئية الدقيقة ، التى تتكون من حبيبات السيزيوم . وكل خلية منهـا معزولة عن الخلايا التى تجاورها تماماً ، وتكون فى الوقت نفسه مع اللوح المعدنى الخلفى

مكثفاً صغيراً . وعند سقوط صورة الجسم من خلال العدسات على الشاشة ينبعث من كل خلية من هذه الخلايا العديدة عدد من الإلكترونات ، يتوقف على شدة الضوء الساقط عليها (تبعاً لتدرج الضوء من الأسود إلى الأبيض) . وتمر هذه الإلكترونات إلى الأنود (٢) . وبذلك يكتسب كل مكثف من ملايين المكثفات الصغيرة . شحنة كهربائية تختلف فى شدتها تبعاً لشدة الإلكترونات المارة إليها . ثم يوجه إلى الشاشة شعاع إلكترونى (من مولد مصمم لهذا الغرض). يخرج من الكاثود (٥) . ويتم توجيه الشعاع الإلكترونى فى اتجاه معين داخل الأنبوبة بواسطة ملفات حارفة (٣) تعمل على توجيه الشعاع ، بحيث يمر على جميع الخلايا الموجودة فى الصف الأفقى للشاشة ، الواحدة تلو الأخرى ، ثم يعود إلى الصف الذى يليه ، وهكذا صفاً وراء صف وبسرعة كبيرة حتى تمسح الشاشة كلها .



الشكل (٢١٦) التصميم الأساسى للإيكونوسكوب

١ – وعاء
٢ – الأنود
٣ – ملفات حارفة (ملفات كاسحة)
٤ – عدسات إلكترونية
٥ – الكاثود
٦ – الشاشة
٧ – حاجز الموزايك (أكسيد السيزيوم)
٨ – عدسات
٩ – الجسم المراد رؤيته
١٠ – صورة الجسم
١١ – إلى وسائل التضخيم

وبمجرد مرور الشعاع السالب الشحنة على هذه الخلايا التى أصبحت مكثفات مشحونة فإنه يقوم بتفريغها الواحدة بعد الأخرى . وينشأ عن تفريغ الشحنة فى كل مكثف من هذه المكثفات تيار يتناسب فى شدته مع تيار الشحن . وتأخذ تيارات التفريغ هذه طريقها إلى الجزء المعدنى اللامع الموجود فى الشاشة ومنه إلى صمامات التضخيم ، ثم تحمل هذه التيارات موجات ذات تردد عال لإرسالها إلى أجهزة الاستقبال .

رابعا : أجهزة تحويل المعلومات الصوتية إلى إشارات كهربائية :

ينبنى تصميم هذه الأجهزة على تأثير موجات الصوت على نظام كهربائى قادر على تحويل موجات الصوت هذه إلى إشارات كهربائية ، ومن أمثلتها الميكروفونات :

(٩) الميكروفونات :

هناك الكثير من أنواع الميكروفونات المستخدمة فى تحويل الأصوات إلى إشارات كهربائية أهمها :

(١) ميكروفون التلامس الكربونى :

يتميز الميكروفون الكربونى بمتانة تصميمه ،ويستخدم فى أجهزة التليفونات النقالى . ويعاب عليه انخفاض كفاءته فى تحويل المعلومات إلى إشارات . ويبين شكل (٢١٧) مقطعاً للميكروفون الكربونى وطريقة عمله .

طريقة عمله :

عندما ترتطم الموجات الصوتية بالغشاء (٤) فإن حبيبات الكربون (٢) تنضغط انضغاطاً يتناسب فى زيادته أو انخفاضه مع هذه الموجات . وبذلك تتغير المقاومة النوعية لحبيبات الكربون تبعاً لشدة الموجة الصوتية . فإذا وصل مثل هذا الميكروفون بدائرة كهربائية ،فإنه يعتبر فى هذه الحالة مقاومة متغيرة تؤدى إلى تغير شدة التيار المار فى الدائرة تبعاً لزيادة أو قلة الضغط على حبيبات الكربون . وعلى ذلك ، فإن الميكروفون يقوم بتحويل المعلومات الصوتية إلى تيارات كهربائية تتناسب مع شدة الموجة الصوتية .

(٢) الميكروفون المكثف :

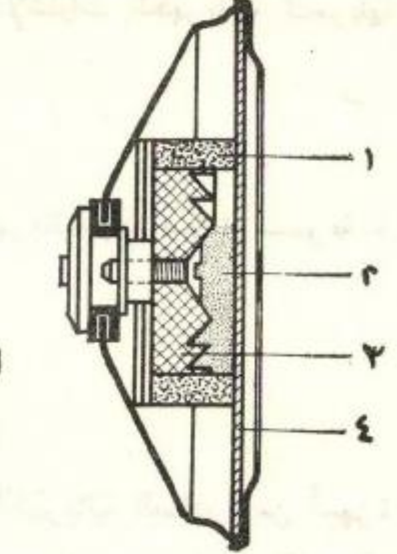
يتركب الميكروفون المكثف أساساً من مكثف ذى سعة متغيرة ، قيمتها حوالى ١٠٠ ميكروفاراد ومن لوحين رقيقين من المعدن بينهما عازل . ويكون اللوح الخلفى ثابتاً ، بينما يترك اللوح الأمامى القابل للاهتزاز حر الحركة . وعندما ترتطم الموجات الصوتية باللوح القابل للحركة فإنها تؤدى إلى تغير سعة المكثف تبعاً لشدة إيقاع هذه الموجات الصوتية . فإذا وصل مثل هذا المكثف بدائرة كهربائية فإن شدة التيار المار تتغير بتغير سعة المكثف ، أى بتغير شدة الموجة الصوتية .

(٣) الميكروفون الكهرديناى :

لا تختلف هذه الميكروفات فى تصميماتها عن الميكروفات العادية ، غير أنها تمتاز بكفاءة عالية نظراً لتولد طاقة كهربئية فيها بالحث المغنطيسى تتناسب مع شدة الصوت . ويوضح شكل (٢١٨) تصميمين لطرازين من الميكروفونات الكهردينامية ، وهى من أكثر الطرز أهمية فى هذا المجال .

(ا) الميكروفون ذو الملف المتحرك .

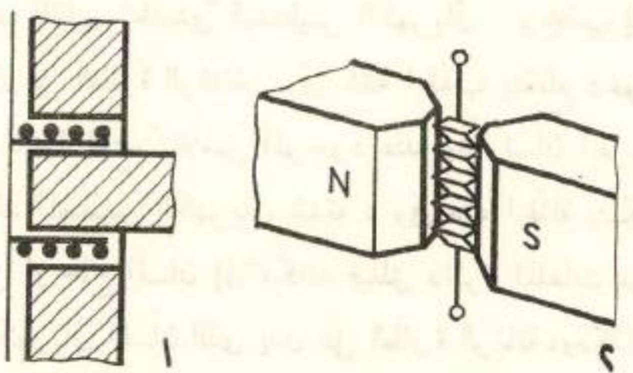
(ب) الميكروفون ذو الملف الشريطى .



الشكل (٢١٧) رسم تخطيطى لمقطع فى ميكروفون التلامس الكربونى

١ - حلقة من اللباد ٣ – أقطاب من الكربون

٢ – حبيبات الكربون ٤ – غشاء كربونى



الشكل (٢١٨) الميكروفون الكهروديناميكى

١ – الميكروفون ذو الملف المتحرك

تؤدى الموجات الصوتية إلى اهتزاز الملف المتحرك ، أى إلى دخوله وخروجه فى الثغرة الهوائية ، لمغنطيس دائم ، فيؤدى ذلك إلى تولد قوة دافعة كهربائية مماثلة تماما مع إيقاع الموجات الصوتية .

٢ – الميكرفون الشريطى

تقوم الموجات الصوتية بتحريك غشاء رقيق من الألومنيوم على شكل شريط موضوع بين أقطاب المغنطيس الدائم فتتولد فى الشريط قوة دافعة كهربائية مماثلة تماما مع إيقاع الموجات الصوتية.

الباب الثانى

اجهزة تحويل الاشارات الكهربائية الى معلومات صوتية أو ضوئية

فيما يلى وصف لمجموعة من الأجهزة التى تقوم باستقبال الإشارات الكهربائية لتحويلها إلى معلومات صوتية أو ضوئية .

أولا : أجهزة تحويل الإشارات إلى معلومات صوتية :

هناك الكثير من الأجهزة المستخدمة فى تحويل الإشارات الكهربائية إلى أصوات مسموعة ، وأهمها الأجراس والأبواق وسماعات الرأس ، ومكبرات الصوت .

(١٠) الأجراس والأبواق :

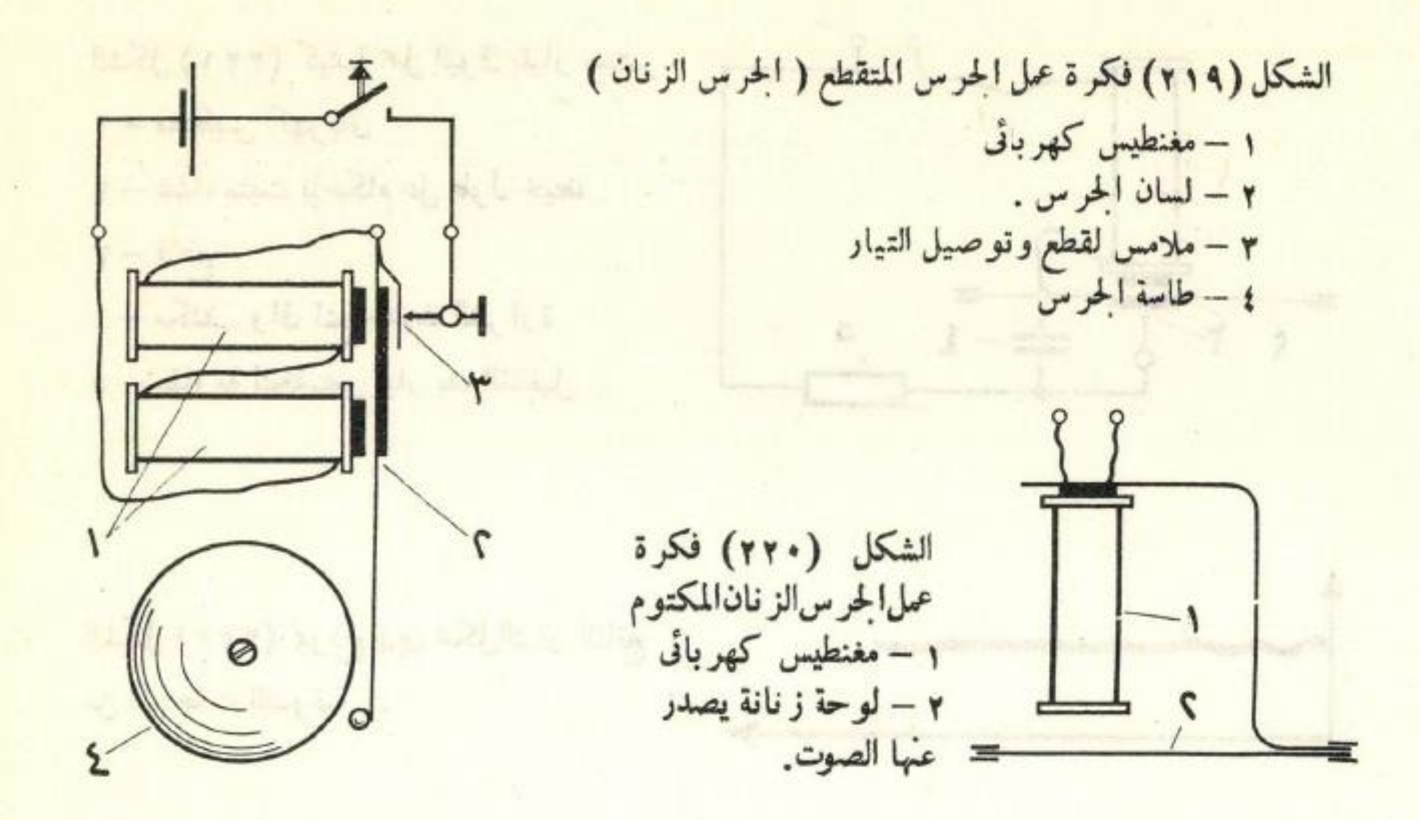
(أ) الأجراس الرنانة (الجرس الرعاش) :

عندما تقفل دائرة الأجراس الكهربائية بواسطة الإشارات الكهربائية الصادرة من أجهزة تحويل المعلومات إلى إشارات (مفاتيح التلامس مثلا) ، فإن ذلك يؤدى إلى مرور التيار الكهربائى فى ملفى الجرس المبين فى شكل (٢١٩) فيتمغنط القلب الحديدى للمغنطيس الكهربائى . ويجذب إليه قطعة حديدية مثبت بها لسان الجرس الذى يدق على الطارة الرنانة . وفى لحظة الجذب ينقطع دخول التيار إلى ملفات المغنطيس الكهربائى ، وذلك نتيجة لفتح الملامس الموجود عند نهاية لسان الجرس للدائرة الكهربائية ، وعند انقطاع التيار يفقد المغنطيس الكهربائى شدته ، وفى هذه الحالة يتمكن الياى الذى يمسك القطعة الحديدية المتحركة من إرجاع اللسان إلى مكانه فيغلق دائرة الملفات مرة ثانية ، وعندئذ يمر التيار فيجذب المغنطيس الكهربائى اللسان الذى يدق على الطارة الرنانة ، وهكذا .

وتوجد أنواع مختلفة من مجموعة الأجراس مثل الجرس أحادى الشوط ، جرس بدائرة توازى ، إلخ . ويعتبر الجرس الرعاش من أهم الأجراس المستخدمة حاليا .

(ب الأجراس المكتومة (الأجراس الزنانة) :

تتميز هذه الأجراس بأن صوتها منخفض ومقبول . ويتكون الجرس من مغنطيس كهربائى يوضع أمامه لوحة معدنية زنانة رجوعية مثبتة من أحد أطرافه بياى ، وتهتز اللوحة عند مرور تيار كهربائى متردد فى ملفات المغنطيس الكهربائى . ويتناسب اهتزاز اللوحة المعدنية الزنانة فى هذه الحالة مع تردد التيار المار فى ملفات المغنطيس الكهربائى .



الشكل (٢١٩) فكرة عمل الجرس المتقطع (الجرس الزنان)
١ — مغنطيس كهربائى
٢ — لسان الجرس .
٣ — ملامس لقطع وتوصيل التيار
٤ — طاسة الجرس

الشكل (٢٢٠) فكرة عمل الجرس الزنان المكتوم
١ — مغنطيس كهربائى
٢ — لوحة زنانة يصدر عنها الصوت.

ويبين شكل (٢٢٠) أحد هذه الأجراس .

(ج) الجرس الزنان ذو المطرقة :

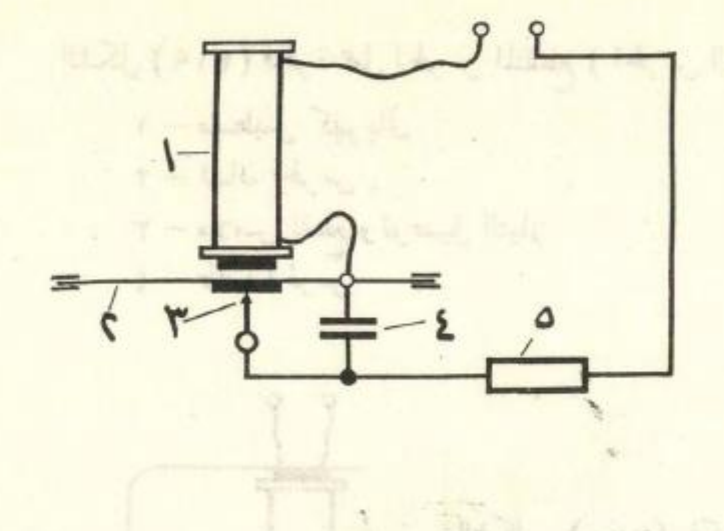
تستخدم هذه الأجراس كوسيلة من وسائل التنبيه التى تصدر أصواتا ذات شدة عالية . وينبنى عمل هذه الأجراس على نفس الفكرة التى تعمل بها الأجراس الزنانة ، إلا أنه يستبدل باللوحة المعدنية طاسة نحاسية كبيرة تصدر صوتا دقاقا عندما يسقط عليها لسان الجرس ، الذى يحمل فى نهايته كرة على هيئة مطرقة . وهذا اللسان مثبت بالمغنطيس الكهربائى ويهتز معه .

(د) البـــوق :

توجد أبواق تعمل على التيار المستمر ، وأخرى تعمل على التيار المتردد. وتنبنى فكرة عمل أبواق التيار المتردد على نفس الفكرة التى تعمل بها الأجراس الزنانة المكتومة ، إلا أنه يستبدل باللوحة المهتزة الموجودة فى الأجراس الزنانة غشاء يوضع أمام المغنطيس الكهربائى ، ويتم ضبط نغمته ليصدر الصوت المرغوب ، أما أبواق التيار المستمر فينبنى تصميمها على مبدأ تصميم الجرس المتقطع ، كما هو مبين فى شكل (٢٢١) .

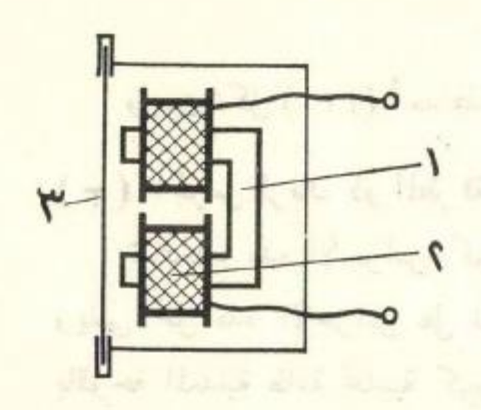
(ﻫ) الصفـارة :

يتم تشغيل هذه الصفارات بواسطة محرك كهربائى ، يدير أسطوانة تدفع الهواء داخل حجرة بها ثقوب مرتبة بطريقة معينة . وينشأ عن دوران الأسطوانة انضغاط الهواء وتمدده بالحجرة ، وينتج عن ذلك صوت الصفارة المعروف . وبذلك تتحول الإشارة الكهربائية إلى صوت مسموع .



الشكل (٢٢١) كيفية عمل البوق بتيار مستمر
١ – مغنطيس كهربائى
٢ – غشاء مثبت بإحكام على طول محيطه .
٣ – قاطع
٤ – مكثف واق لمنع حدوث الشرارة
٥ – مقاومة لتخفيض تيار بدء التشغيل

الشكل (٢٢٢) نموذج يبين شكل التيار الناتج من الموجات الصوتية .



الشكل (٢٢٣) كيفية عمل سماعة الرأس
١ – مغنطيس دائم على شكل حدوة الحصان .
٢ – ملفات
٣ – غشاء مثبت قابل للاهتزاز

(١١) سماعـــة الرأس :

تستخدم هذه السماعات بكثرة ، سواء على هيئة سماعة أذن أحادية ضمن المجموعة اليدوية الخاصة بأجهزة التليفونات ، أو على هيئة سماعة زوجية تلبس على الرأس ، كما فى السنترالات وفى مكاتب الخدمة البرقية .

ويبين شكل (٢٢٣) طريقة عمل سماعات الرأس، وتتركب من مغنطيس كهربائى مكون من عدد كبير من اللفات يوجد بداخلها قطب حديدى واحد (مغنطيس كهربائى وحيد القطب) أو عدة أقطاب (مغنطيس كهربائى متضاعف القطب) (١) . وبوضع أمام المغنطيس الكهربائى غشاء رقيق (٣) . وعندما يمر بالملفات التيار المتغير الناتج من الميكروفون الذى سبق شرحه والذى تختلف شدته تبعا لاختلاف شدة الصوت فى الميكروفون فإن شدة المجال المغنطيسى الناتج تتغير تبعا لتغير التيار ، وبالتالى فإن اهتزاز الغشاء الرقيق يتغير تبعا لشدة المجال فيصدر منه صوت يحاكى الصوت الناتج عن الميكروفون . وبذلك يتم تحـــويل الذبذبات الكهربائية إلى ذبذبات صوتية ، شكل (٢٢٢) .

(١٢) مكبرات الصوت :

يعتبر مكبر الصوت تصميما محسنا للسماعات ، حيث إنه يعيد إصدار الصوت بعد تكبير (لذلك فإنه يحتاج عادة إلى مصدر قدرة خارجية لتكبير الصوت) . وتوجد عدة أنواع من مكبرات الصوت ، منها :

(ا) المكبرات ذات الحديدة المتحركة .

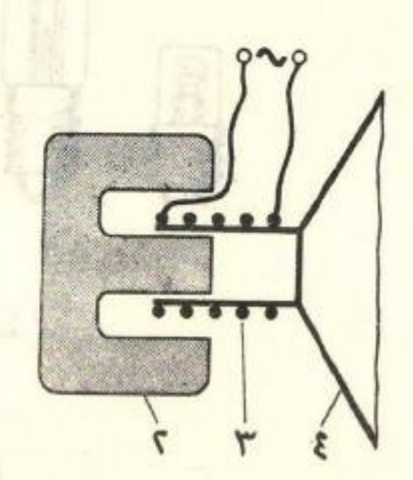
(ب) المكبرات الدينامية .

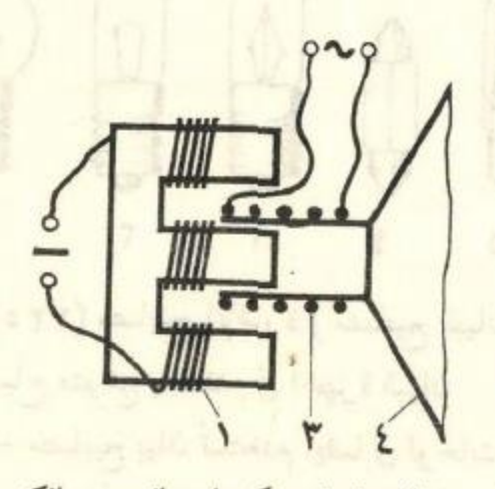
(ج) المكبرات الكهردينامية .

وقد بطل استخدام المكبرات ذات الحديدة المتحركة حاليا ، وتستخدم بدلا منها المكبرات الدينامية أو المكبرات الكهردينامية . والفرق بين المكبرين الأخيرين يتلخص فى استخدام مغنطيس دائم فى المكبرات الدينامية لإنتاج مجال مغنطيسى ثابت ذى شدة عالية، كى يساعد المجال المغنطيسى المتغير الناتج من الصوت، مما يؤدى إلى وجود مجالات مغنطيسية متغيرة قوية تعمل على اهتزاز ملفات الصوت داخل الثغرة الهوائية . وتلصق ملفات الصوت من الخارج بغشاء رقيق على هيئة مخروط ، وعندما يمر التيـــار ذو التردد الصوتى فى الملفات فإنه يؤدى إلى اهتزاز ملفات الصوت وبالتالى إلى اهتزاز الغشاء المخروطى الرقيق . فيصدر من الغشاء صوت مماثل للصوت المراد سماعه. وبذلك يتم تحويل الذبذبات الكهربائية إلى ذبذبات صوتية ، انظر الشكل (٢٢٤) .

أما المكبرات الكهردينامية فيستخدم فيها مغنطيس كهربائى بدلا من المغنطيس الدائم .

وأهم مميزات مكبرات الصوت الدقة فى محاكاتها لجميع النغمات التى تصل إليها ، مع خلو الصوت الناتج من التشويه .





الشكل (٢٢٤) كيفية عمل مكبرات الصوت الدينامية ومكبرات الصوت الكهروديناميه

١ – مغنطيس كهربائى ٣ – ملف متحرك

٢ – مغنطيس دائم ٤ – غشاء مثبت قابل للاهتزاز

وتعتبر المكبرات الدينامية والكهرديناميه أنسب المكبرات المستخدمة فى إذاعة الأصوات والموسيقى ذات الطبقة المنخفضة نسبيا . وقد أدخل تحسين على مكبرات الصوت باستخدام مكبر إضافى يعمل على أساس كهرستاتيكى ، أو عن طريق التأثير البلورى، مما زاد من كفاءة المكبرات الكهرديناميه الحديثة، حيث تؤدى الطاقة الكهربائية الناتجة من الضغط على البلورات بواسطة موجات الصوت ، والتى يطلق عليها اسم « الطاقة الكهربائية البيزوستاتيكية » إلى زيادة التكبير بواسطة المكبر الكهرديناى وخاصة للأصوات ذات التردد المنخفض جدا .

ثانيا : أجهزة تحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات ضوئية :

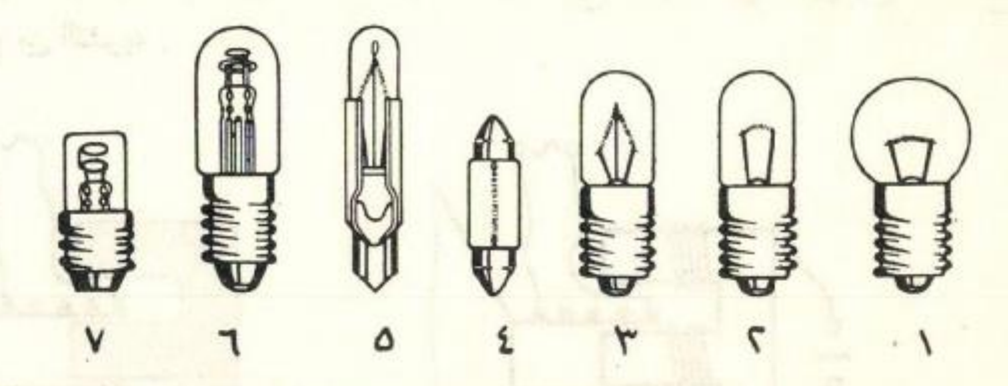
(١٣) مصابيح الإشارة ولوحات البيان :

(أ) مصابيح الإشارة (مصابيح البيان المتوهجة) :

يبين الشكل (٢٢٥) بعض أنواع مصابيح الإشارة الشائعة الاستعمال .

وتتركب مصابيح الإشارة المتوهجة من أنابيب مفرغة ينبعث منها ضوء غنى بالأشعة الحمراء عندما يمر بها التيار الضعيف الصادر من مفاتيح التحكم أو من وسائل القطع والوصل السابق شرحها . وبذلك يتم تحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات ضوئية .

وهذه المصابيح المبينة فى الشكل تلائم الأماكن التى تتطلب خدمة ضوئية مستمرة بقدرة استهلاك منخفضة .



الشكل (٢٢٥) مصابيح الإشارة (مصابيح البيان المتوهجة)

١ — مصباح متوهج يستخدم فى أجهزة البيان

٢ ، ٣ — مصابيح بيان تستخدم أيضا فى لوحات التوزيع

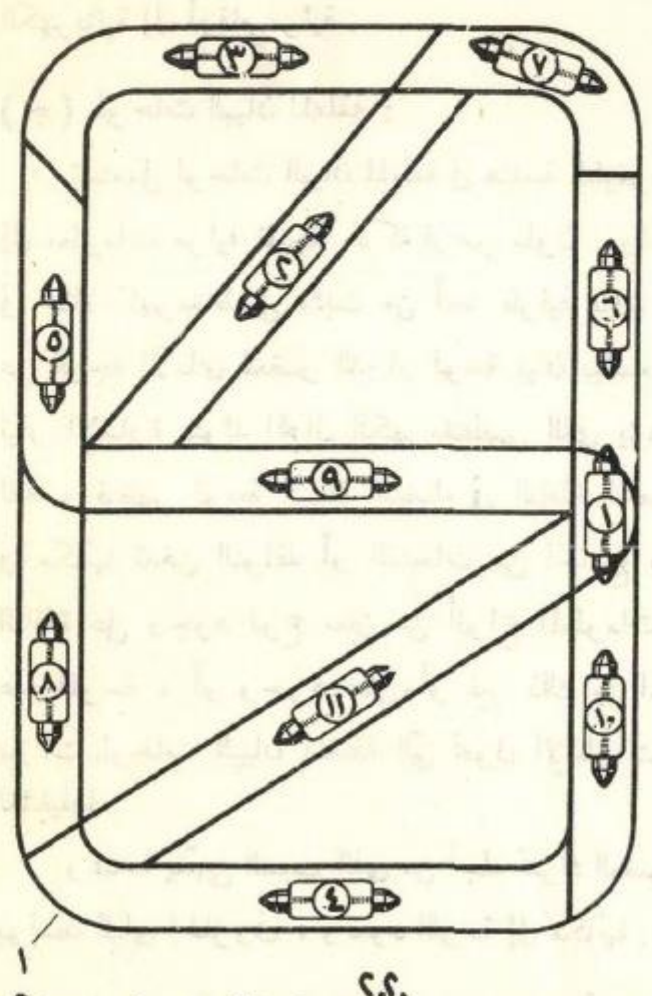
٤ — نفس المصابيح السابقة ولكن لها شكل أنبوبى

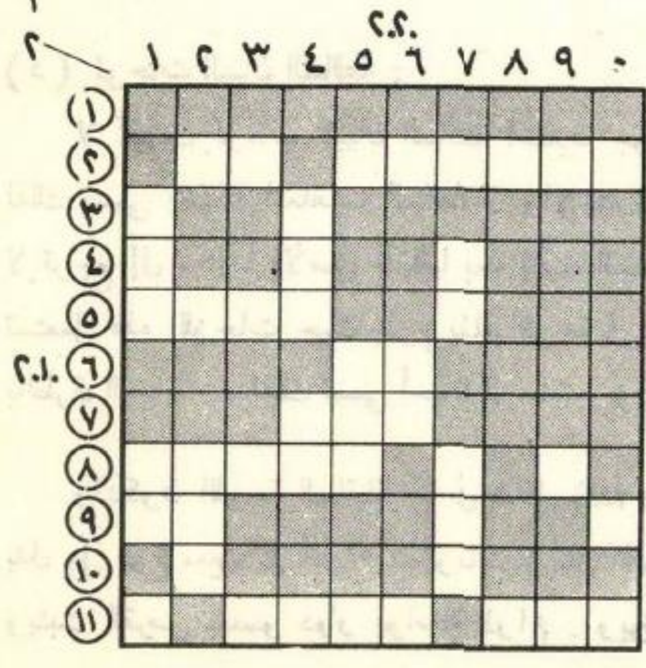
٥ — مصابيح مستخدمة فى الإشارات التليفونية

٦ ، ٧ — مصابيح مغرفة متألفة تستخدم فى الإشارة أو البيان

(ب) اللوحة العددية المضيئة :

تستخدم اللوحة العددية المضيئة لتحويل الإشارات الكهربائية الصادرة إليها إلى معلومات مرئية . وتحتوى هذه اللوحة على أرقام معدنية مفرغة ومضاءة من الخلف ، وتوضع هذه الأرقام متجاورة وفى صفوف أفقية متراصة فوق بعضها البعض . ويحتوى كل صف على الأرقام من صفر إلى ٩ . وباستخدام لوحة مكونة من أربع حجرات ، كل حجرة فيها تشبه تلك المبينة فى شكل (٢٢٦) ، فإنه يمكن إظهار الأعداد من صفر حتى ٩٩٩٩ .





الشكل (٢٢٦) إحدى حجرات الإضاءة للوحات عددية مضيئة .

١ – حجرة إضاءة

٢ – لوحة عددية مضيئة

٢|١ – مصابيح أنبوبية

٢ ٢ – الأرقام العددية

ويتم تشغيل مثل هذه اللوحة بواسطة مجموعة من المفاتيح مكونة من ١١ مفتاحا، يستخدم أحدها فى إلغاء مجموعة الأرقام ، وترتبط هذه المفاتيح بعضها ببعض ، بحيث يتم تشغيل رقم واحد فقط ،ولا يمكن تشغيل مجموعة من الأرقام فى نفس الوقت. ويجب أن يقوم مفتاح الإلغاء بعمله قبل تشغيل أى رقم آخر. وفى هذه اللوحة يمكن مثلا تمثيل الرقم صفر عندما تعمل جميع المصابيح فيما عدا المصابيح ٢ ، ٩، ١١ . وتعتبر هذه اللوحة محول طاقة يستخدم فى تحويل الإشارات الكهربائية إلى أرقام مرئية .

(ج) لوحات البيان المعلقة :

تستعمل لوحات البيان المعلقة فى هندسة التليفونات والسنترالات لتحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات مرئية نتيجة لحركة قرص ملون . وتتركب اللوحة المعلقة من عضو دوار موضوع فى مجال كهرمغنطيسى مثبت من أحد طرفيه بياى حلزونى لإعادته إلى وضعه الأصلى . وتلصق على الوجه الأمامى للعضو الدوار لوحة بيان بيضاء اللون . وعند غلق الدائرة الكهربائية بواسطة تيار الإشارة يتولد المجال الكهرمغنطيسى الذى يؤدى إلى تحريك العضو الدوار بالحث خلال $\frac{1}{8}$ لفة ، فتظهر لوحة البيان البيضاء فى النافذة المخصصة لها . ولإظهار اللوحة البيضاء بوضوح فى مكانها تدهن النوافذ أو الفتحات من الخارج باللون الأسود . ويدل وجود هذه اللوحة فى النافذة على وجود نوع معين من أنواع المعلومات مثل انشغال الخط التليفونى الذى تدل عليه هذه اللوحة ، أو وجود عطل،أو غير ذلك من المعلومات الخاصة بالتركيبات التليفونية . ومن مميزات لوحات البيان المعلقة التى تحول الإشارات إلى معلومات أنها لا تحتاج إلالقدرة ضئيلة لتشغيلها .

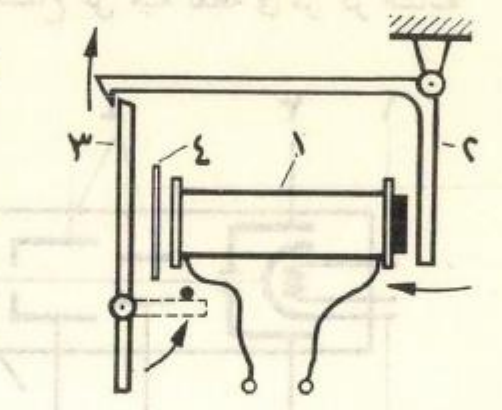
وعندما ينتهى السبب الذى من أجله تحرك العضو الدوار ، فإنه يعود إلى وضعه الأصلى تلقائيا بواسطة الياى الحلزونى ،وتعود اللوحة إلى مكانها .

(د) لوحات البيان الساقطة :

لا تختلف لوحات البيان الساقطة اختلافا جوهريا فى طريقة عملها عن لوحات البيان المعلقة، لذلك تسمى أحيانا المعلقات الساقطة . والاختلاف الأساسى بينها هو أن لوحات البيان الساقطة لا ترجع إلى مكانها الأصلى تلقائيا بعد انتهاء السبب الذى من أجله سقطت لوحة البيان . ولذلك تستعمل هذه اللوحات حيث يلزم بقاء اللوحة فى مكانها . ونعاد اللوحة إلى مكانها الأصلى عادة بالطرق اليدوية . ولذلك تسمى أحيانا لوحات خزن المعلومات .

وتتكون اللوحة الساقطة كما فى شكل (٢٢٧) من قرص غير مغنطيسى يحمل رقما أو حرفا يدل على نوع معين من أنواع المعلومات (مثل المحول ٤ لا يعمل ، أو الحجرة رقم ٤ مشغولة). ويثبت القرص بعضو دوار بواسطة ذراع . ويوضع العضو الدوار فى مجال مغنطيسى كهربائى .

ويدور العضو الدوار إلى أسفل ، فتسقط لوحة البيان بمجرد مرور الإشارة الكهربائية فى ملفات المغنطيس الكهربائى .



الشكل (٢٢٧) فكرة عمل لوحات البيان الساقطة
١ – مغنطيس كهربائى
٢ – العضو الدوار
٣ – اللوحة الساقطة
٤ – لوحة مرقة

(١٤) الصمام ذو الشعاع الكاثودى :

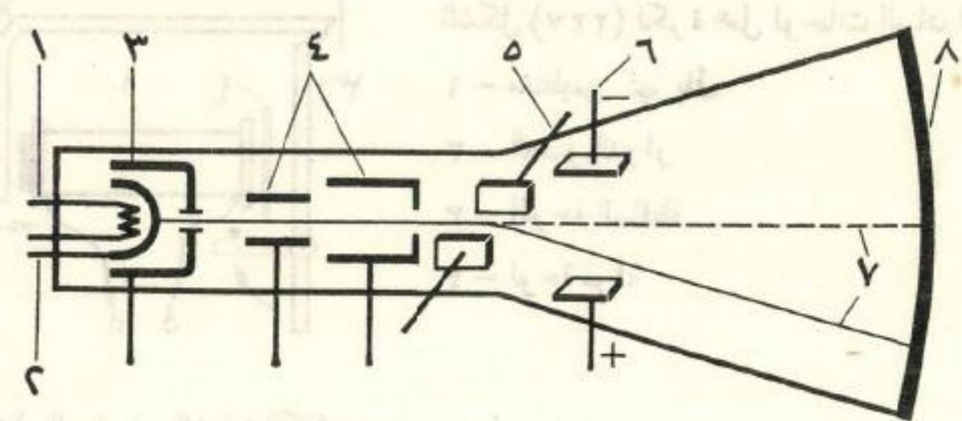
تستخدم هذه الصمامات فى تحويل الإشارات الكهربائية إلى ضوء مرئى بألوان متعددة تظهر على شاشة فلورسنتية . والصمامات من أهم الأجهزة المستخدمة فى القياسات الكهربائية المختلفة وفى رسم الذبذبات الكهربائية بجميع أنواعها ، وتستخدم الصمامات أيضا فى الرادار والرؤية من بعد (التليفزيون) لقدرتها الفائقة على رسم الصورة المتحركة .

وتقسم صمامات الأشعة الكاثودية تبعا لاستعمالاتها إلى : صمامات قياس الذبذبة ، وصمامات التصوير ، ويعمل كل من الصمامين وفقا لنفس الفكرة ، إلا أن لكل منهما أداء مميزاً يختلف عن الآخر .

ويبين شكل (٢٢٨) فكرة صمام راسم الذبذبات ذى الشعاع الكاثودى . ويشتمل الصمام عادة على أنبوبة مفرغة على هيئة قمع ، توجد فى نهايتها الواسعة شاشة فلورسنتية مغطاة بكبريتور الزنك وكبريتور الكادميوم . وترتسم الصورة على الشاشة نتيجة لاصطدام الشعاع الإلكترونى بها . ويتولد الشعاع داخل الأنبوبة نتيجة لتسخين الكاثود المصنوع من أكسيد الباريوم . ويتم تركيز هـــذا الشعاع وتوجيهه على الشاشة حتى يرسم الصورة المطلوبة باستخدام أسطوانة أنودية مثقوبة توضع فى مسار الشعاع الإلكترونى تسمى « أسطوانة فهنيليت » .

وتعتبر قيمة الجهد المسلط على أسطوانة « فهنيليت » عاملا حاسما فى درجة اللمعان للصورة المتكونة على الشاشة الفلورسنتية ، حيث أنه يحدد سرعة إلكترونات الشعـاع الكاثودى . ثم ترتكز الإلكترونات مرة أخرى بواسطة أنبوبة بجهد سالب . كما يوضع فى مسار الشعاع لوحان أفقيان لهما مجال إلكتروستاتيكى يمكن بواسطته إحداث انحراف رأسى فى الشعاع ، بحيث تتحرك الإلكترونات إلى أعلى أو إلى أسفل تبعا لشكل الجهد المسلط عليهما . كذلك يوجد لوحان رأسيان لهما مجال إلكتروستاتيكى يمكن بواسطته إحداث انحراف أفقى للشعاع يمينا ويسارا بنفس الكيفية .

وقد تستبدل بالألواح الأفقية والألواح الرأسية ملفات أفقية وملفات رأسية يمر بها تيار كهربائى لإحداث الانحراف بالطرق الكهرمغنطيسية. وتتوقف قيمة الانحراف عادة على قيمة جهد اللوحين أو الملفين. وفى حالة عدم وجود أى جهد على اللوحين، يظهر الشعاع على هيئة نقطة فى مركز الشاشة الفلورسنتية.



الشكل (٢٢٨) أساس عمل الصمام ذى الشعاع الكاثودى

١ – فتيلة تسخين
٢ – الكاثود
٣ – أسطوانة فهنيليت
٤ – الأسطوانة الأنودية
٥ – الألواح الرأسية المستخدمة فى إحداث انحراف الشعاع أفقيا
٦ – الألواح الأفقية المستخدمة فى إحداث إنحراف الشعاع رأسيا
٧ – الشعاع الكاثودى (المدفع الإلكترونى)
٨ – الشاشة الفلورسنتية

ويستخدم هذا الصمام فى قياس الموجة الجيبية للتيار المتردد. فإذا سلط التيار المتردد المراد معرفة شكله على اللوحين الأفقيين اللذين يسببان الانحراف الرأسى، فإن الموجة تظهر على الشاشة على هيئة خط رأسى مستقيم، حيث أن البقعة الضوئية ستتحرك إلى أعلى وإلى أسفل فقط. لذلك يوصل اللوحان الرأسيان اللذان يسببان الانحراف الأفقى بجهد يسمى الجهد الكاسح، ويكون لهذا الجهد عادة شكل سن المنشار، ليكسب البقعة الضوئية حركة أفقية إضافية منتظمة. وفى هذه الحالة تظهر صورة ذبذبة التيار المراد معرفة شكل موجته كحركة مستمرة بالنسبة للزمن. وللحصول على صورة تكاد تكون ثابتة لهذه الذبذبات، تستخدم وسيلة إضافية لها جهد اكتساح سالب بالنسبة للكاثود. وتوضع هذه الوسيلة على اللوحين الرأسيين اللذين يسببان الانحراف الأفقى. ويطلق عادة على نظام توليد الإلكترونات وإسراعها وتركيزها اسم المدفع الإلكترونى. وتوجد عدة أنواع وطرازات مختلفة للصمامات التى تعمل بألواح الانحراف الكهرستاتيكى، أو بملفات الانحراف الكهرمغنطيسى المستخدمة كصمامات لشاشة التليفزيون أو فى أجهزة الرادار والتحكم فى الطيران، ولتسجيل الظواهر وكيفية تغيرها بالنسبة للزمن.

الباب الثالث

تضخيم الاشارات الكهربائية

(١٥) عام :

من المعروف أن الطاقة الكهربائية للإشارات المستخدمة فى هندسة الاتصالات ضعيفة جدا ، فجهدها منخفض وتيارها متناه فى الضعف . لذلك تستخدم المضخات عادة فى هذا المجال لتقوية الإشارات وإظهارها بوضوح . ويفضل فى بعض الأحيان ، من وجهة النظر الاقتصادية ، تضخيم الإشارات عند نقطة الاستقبال ، بدلا من تضخيمها أثناء إرسالها .

ويستخدم فى هندسة الاتصالات وسائل وأجهزة شتى لتضخيم الإشارات ، أهمها :

١ — المرحلات .

٢ — مضخم الإشارات ذات التردد العالى .

٣ — مضخم الإشارات ذات التردد المنخفض .

وقبل التحدث عن المضخات ، يفضل أن نتناول بالشرح بعض التعريفات المستخدمة فى هذا المجال ، وأهمها كفاءة التضخيم أو معامل التكبير .

تعرف كفاءة التضخيم بأنها النسبة بين القدرة الداخلة للمضخم إلى القدرة الخارجة منه :

$$\text{كفاءة التضخيم} = \frac{\text{القدرة الداخلة}}{\text{القدرة الخارجة}} = \frac{ق_د}{ق_خ}$$

(١٦) المرحلات :

شرحنا المرحلات ومميزاتها فى القسم الخاص بهندسة القوى . وتستخدم المرحلات أيضا فى هندسة الاتصالات كمضخات بالإضافة إلى استخداماتها الأخرى .

وللمرحلات أهمية خاصة من حيث استخدامها كمضخات فى هندسة الاتصالات ، حيث أنها تقوم بفصل أووصل التيارات ذات الشدة الكبيرة المستخدمة فى هندسة القوى أو هندسة الاتصالات ، ومن مميزاتها أن القدرة اللازمة لتشغيل المرحلات صغيرة جدا . وتعرف كفاءة التضخيم فى المرحلات بأنها النسبة بين مجموع قدرات الدوائر التى تعمل عليها مرحلة ما (مرحل ما) إلى القدرة اللازمة لتشغيل هذه المرحلة :

$$\text{كفاءة المرحلة} = \frac{\text{قدرة الفصل أو الوصل}}{\text{قدرة الإثارة (قدر تشغيل المرحلة)}}$$

ومن المعروف أن قدرة الدوائر التى تعمل عليها ملامسات المرحلة (المرحل) أى الدوائر التى تقوم بفتحها أو غلقها ، أكبر بكثير من القدرة الضعيفة اللازمة لتشغيل ملامسات المرحلة لوصل وقطع التيار المار فى هذه الدوائر .

قدرة تشغيل المرحلة (وتسمى قدرة الإثارة) :

من المعروف أن قدرة تشغيل المرحلة تساوى حاصل ضرب جهد الإثارة ($ج_م$) فى تيار الإثارة ($ت_م$) .

ويعتمد مقدار قدرة الفصل والوصل على أبعاد الملامسات ، والخامة التى تصنع منها الملامسات ، وتصميمها ، وطريقة عملها .

والمثال التالى يبين كيفية حساب كفاءة التضخيم فى المرحلات .

مثـــال :

مرحل بملف يعمل على جهد ١٢ فلط . يمر به تيار إثارة (تيار تشغيل) ١٠٢ ملى أمبير ليكون قادرا على تشغيل أربعة ملامسات ، يعمل كل ملامس منها على قدرة مقدارها ٦٠ وات . إحسب قدرة تضخيم المرحلة .

المعطيات	المطلوب
$ج_م$ = ١٢ فلط	قدرة التضخيم
$ت_م$ = ١٠٢ ملى أمبير	

قدرة الفصل = ٤ × ٦٠ وات = ٢٤٠ وات .

الحـــل :

قدرة الإثارة = $ج_م \times ت_م$

= ١٢ فلط × ١٠٢ ملى أمبير = ١٢٢٤ ملى وات

= ١,٢٢٤ وات .

$$\text{كفاءة التضخيم} = \frac{\text{قدرة الفصل}}{\text{قدرة الإثارة}}$$

$$= \frac{\text{٢٤٠ وات}}{\text{١,٢٢٤ وات}} = ١٩٦$$

أى أن هذا المرحل يمكن أن يضخم ١٩٦ مرة من قدرة إثارته .

فإذا أوصلت إليه قدرة إثارة مقدارها ١,٢٢٤ وات ، فيمكنه تشغيل دوائر كهربائية تصل قدرتها إلى ٢٤٠ وات عن طريق ملامساته الأربعة .

(١٧) تضخيم الإشارات ذات التردد العالى :

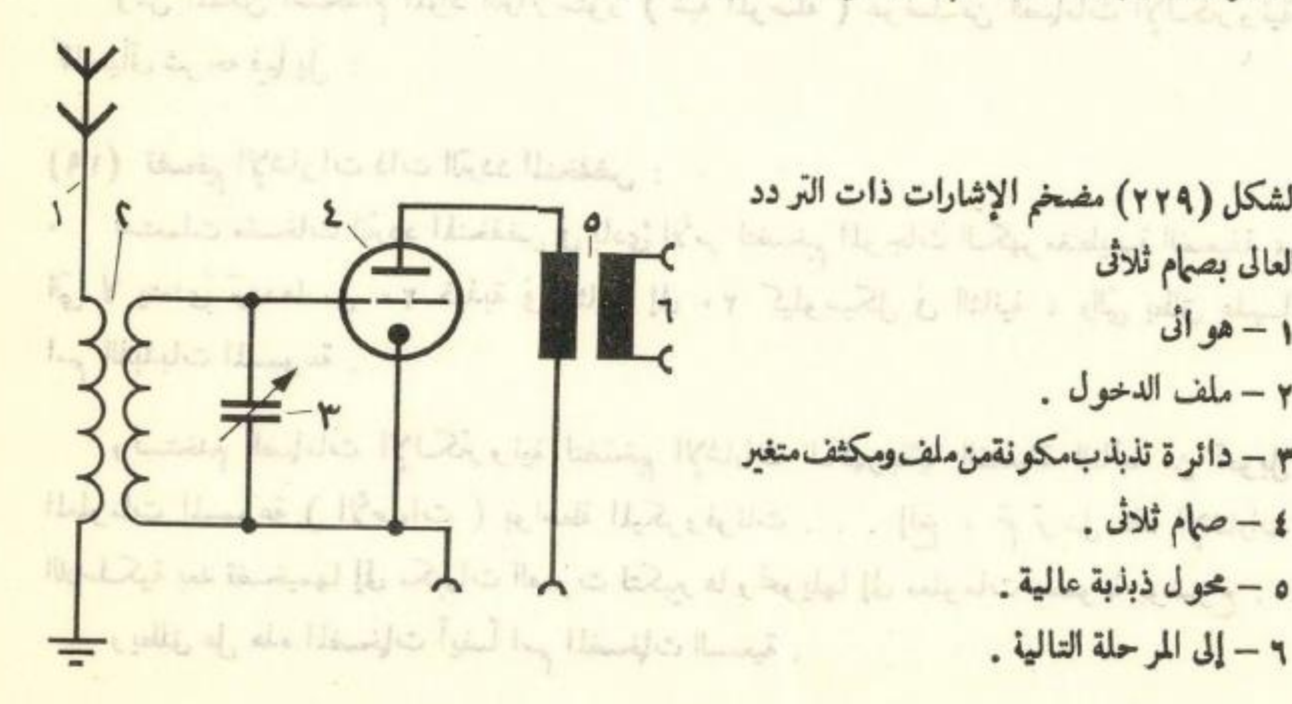
تستخدم الموجات الكهرمغنطيسية ذات الذبذبة العالية فى حمل المعلومات والإشارات ذات الذبذبة المسموعة (المنخفضة) لإرسالها بالطرق اللاسلكية .

وعند اصطدام الموجات ذات التردد العالى الحاملة للإشارات المسموعة بهوائى جهاز الاستقبال فإنها تحتاج عادة لعدة مراحل من التضخيم تستخدم فيها صمامات إلكترونية لا تحتاج إلى قدرة تذكر للقيام بعملية التضخيم . ويبين الشكل(٢٢٩) إحدى المراحل المستخدمة فى تضخيم الموجات ذات الترددالعالى ، حيث يمر الجهد الناتج من اصطدام الموجات المرسلة بالهوائى إلى ملفات دائرة الرنين (دائرة الاختيار) . وهذا الجهد الناتج من الاصطدام لا يتعدى ٠,٠٠٥ فلط . وتتم عملية التضخيم للموجات ذات التردد العالى على مرحلتين هما : مرحلة الاختيار ومرحلة التضخيم .

(أ) مرحلة الاختيار :

تستخدم دوائر الاختيار ، كما هو واضح من اسمها ، فى اختيار الموجة المطلوبة واستبعاد بقية الموجات . وتتكون دائرة الاختيار (دائرة الرنين) من ملف ومكثف متغير كما هو موضح بالشكل .

ويستخدم المكثف المتغير لضبط تردد هذه الدائرة حتى تتلاءم (أى تحدث رنيناً) مع تردد الموجات الكهرمغنطيسية المختارة المراد استقبالها أو إحداث رنين معها ، وبذلك يكون التيار المناظر لهذه الموجات هو أكبر تيار يمكن أن يمر بالدائرة . أما تيار الموجات الأخرى فيستبعد .



الشكل (٢٢٩) مضخم الإشارات ذات التردد العالى بصمام ثلاثى
١ – هوائى
٢ – ملف الدخول .
٣ – دائرة تذبذب مكونة من ملف ومكثف متغير
٤ – صمام ثلاثى .
٥ – محول ذبذبة عالية .
٦ – إلى المرحلة التالية .

(ب) مرحلة التضخيم :

يمر التيار المقابل للموجات المختارة من دائرة الاختيار إلى كاثود الصمام الثلاثى المضخم . ثم يمر التيار من الكاثود إلى الأنود ماراً بالشبكة التى تقوم بتضخيمه . ويمر التيار المضخم من الأنود إلى الملفات الابتدائية لمحول يستخدم فى تكبير التيارات والجهود ذات التردد العالى . ثم ينساب من الملفــات الثانوية إلى مرحلة أخرى من مراحل التضخيم . وفيما يلى شرح مبسط للصمام الثلاثى المستخدم كمضخم .

(١٨) الصمام الثلاثى المستخدم كمضخم :

يتكون الصمام الثلاثى من كاثود وأنود وقطب ثالث مثقب بشكل شبكة معزولة تثبت بين الكاثود والأنود . ووظيفة هذه الشبكة هى التحكم فى التيار المار من الكاثود الى الأنود (التيار الأنودى) . ويتم ذلك بأن يسلط على الشبكة جهد يجرى تغييره حسب الحاجة .

وعندما يكون جهد الشبكة موجباً بالنسبة للكاثود يزداد مرور الإلكترونات ، وبذلك يمكن استخدام الصمام الثلاثى كمضخم (للجهد أو التيار أو القدرة) ، بتغيير قيمة الجهد بين شبكة الصمام والكاثود بطريقة معينة ، بحيث تؤدى إلى زيادة التيار المار بين الكاثود والأنود لتضخيمه بالقيمة المطلوبة ، وبحيث يكون مماثلا تماماً للتيار الأساسى .

أما إذا كان جهد الشبكة سالباً فإنه يمر عدد أقل من الإلكترونات . ويتم التحكم فى الإلكترونات دون فقد أى قدرة تذكر .

كما يمكن أيضاً استخدام الصمام الثلاثى كمولد للذبذبات أو ككاشف . وسيأتى شرح ذلك فيما بعد عند الكلام عن أجهزة الإرسال والاستقبال للموجات ذات التردد العالى .

ومن الممكن استخدام المواد الترانزستور (شبه الموصلة) عوضاً عن الصمامات الإلكترونية كما سيأتى شرحه فيما يلى :

(١٩) تضخيم الإشارات ذات التردد المنخفض :

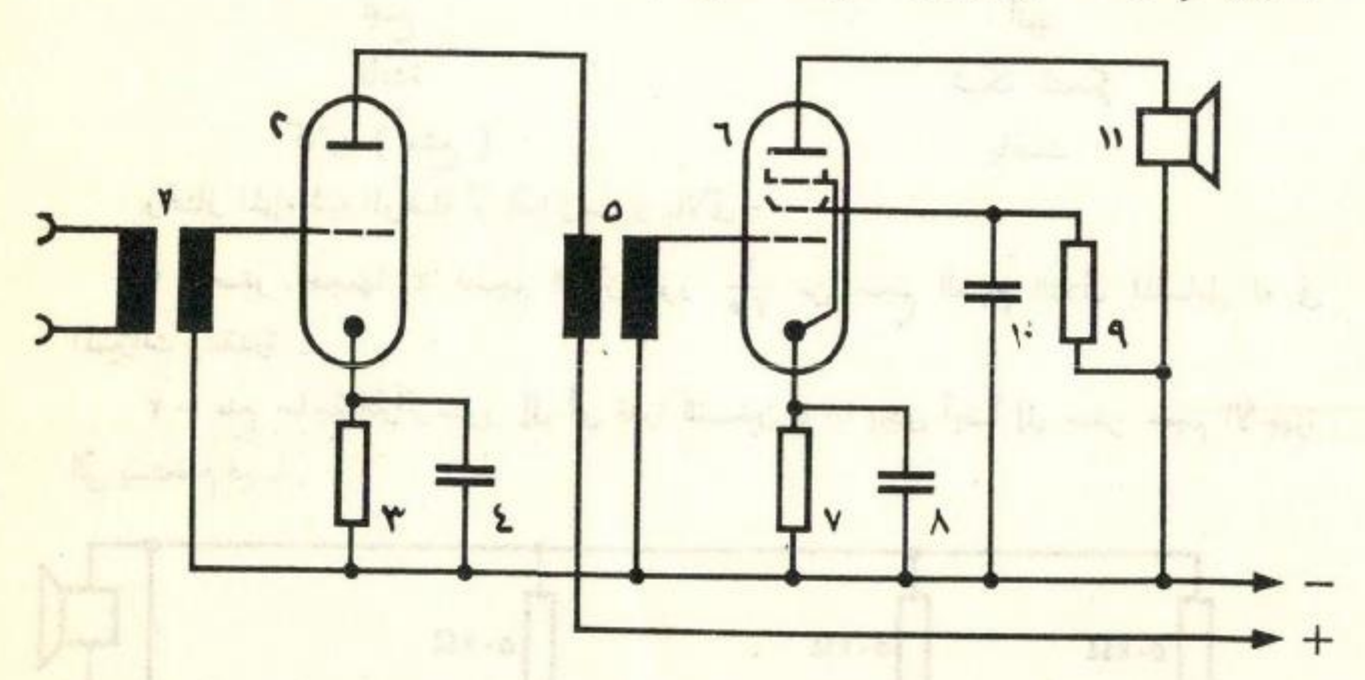
استعملت مضخات التردد المنخفض فى بادئ الأمر لتضخيم الموجات الكهرمغنطيسية الضعيفة ، التى لا يتعدى ترددها من ٢٠ ذبذبة فى الثانية إلى ٢٠ كيلوسيكل فى الثانية ، والتى يطلق عليها اسم الذبذبات المسموعة .

وتستخدم الصمامات الإلكترونية لتضخيم الإشارات الكهربائية الضعيفة الناتجة من تحويل المعلومات المسموعة (الأصوات) بواسطة الميكروفونات . . . إلخ ، ثم ترسل هذه الإشارات اللاسلكية بعد تضخيمها إلى مكبرات الصوت لتكبيرها وتحويلها إلى معلومات مسموعة بوضوح . ويطلق على هذه المضخات أيضاً اسم المضخات السمعية .

ويبين شكل (٢٣٠) دائرة تضخيم لموجات كهرمغنطيسية ذات تردد منخفض ، وفيها يتم التضخيم على مرحلتين ، حيث يستخدم فى المرحلة الأولى صمام ثلاثى ويستخدم فى المرحلة الثانية صمام خماسى .

وتتلخص عملية التضخيم فى الآتى :

يتم تحويل المعلومات المسموعة إلى إشارات كهربائية بترددمنخفض بواسطة ميكروفون أو جهاز من أجهزة تحويل المعلومات إلى إشارات ، ثم تمر هذه الإشارات إلى الملفات الابتدائية للمحلول (١) (بنسبة تحويل ١ : ١٠) لرفع جهد هذه الإشارات، ثم إلى الصمام الثلاثى المضخم، ثم إلى محول آخر بتردد منخفض لرفع الجهد (بنسبة تحويل ١ : ٤) ومنه إلى الصمام الخماسى المضخم ، ثم إلى مجموعة سماعات أو مكبرات للصوت أو إلى أجهزة تسجيل ، أو أى أجهزة أخرى تقوم بتحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات مسموعة .



الشكل (٢٣٠) مضخم الإشارات ذات التر دد المنخفض مكون من مرحلتين – الأولى بصمام ثلاثى والثانية بصمام خماسى .

١ – محول ذبذبة منخفض (بنسبة تحويل ١ : ١٠)
٢ – صمام ثلاثى
٣ – المقاومة الكاثودية للصمام الثلاثى
٤ – المكثف الكاثودى للصمام الثلاثى
٥ – محرك ذبذبة منخفضة (بنسبة تحويل ١ : ٤)
٦ – الصمام الخماسى
٧ – المقاومة الكاثودية للصمام الخماسى
٨ – المكثف الكاثودى للصمام الخماسى
٩ – شبكة التسرب للصمام الخماسى
١٠ – مكثف شبكة التسرب
١١ – مكبر الصوت

(٢٠) المواد شبه الموصلة (الترانزستور) المستخدمة كمضخم :

تم تطوير المواد شبه الموصلة (الترانزستور) ، التى سبق شرح عملها ، بحيث أصبحت تصلح كمضخات بالإضافة إلى عملها كقومات . واستخدمت المواد شبه الموصلة فى تضخيم الإشارات الكهربائية بتردد عال وبتردد منخفض . والمواد شبه الموصلة المستخدمة كمضخات يمكن إنتاجها بإدماج صفات من أنواع ب (المتقبل) مع النوع ن (الواهب) . وتستعمل هذه الموجات حالياً بكثرة ، عوضاً عن الصمامات الثلاثية ، فى أغراض التضخيم والتقويم والكشف .

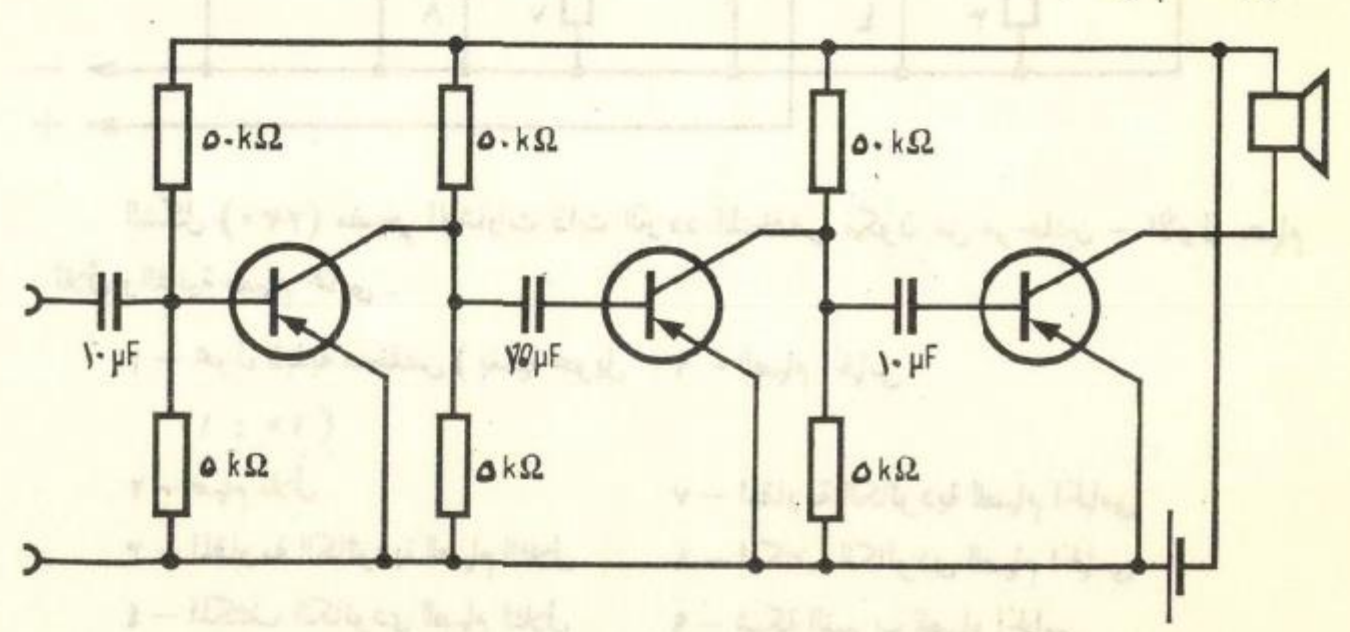
وفيما يلى بيان بالأسماء التى اتفق عليها لتسمية الأجزاء الرئيسية فى المضخات الترانزستور والتى تناظر نفس الأجزاء الرئيسية فى الصمامات الإلكترونية المستخدمة كمضخمات :

أسماء الأجزاء الرئيسية فى المواد الترانزستور	أسماء الأجزاء الرئيسية المناظرة لها فى الصمام الثلاثى
مجمع	أنود
قاعدة	شبكة التحكم
كاثود (مشع)	باعث

وتمتاز المواد شبه الموصلة أو الترانزستور بالآتى :

١ — صغر حجمها ، فحجم الترانزستور $\frac{١}{٢٥}$ من حجم الصمام الثلاثى المقابل له فى المميزات والقدرة .

٢ — عدم حاجة الترانزستور إلى أى قدرة للتسخين ، مما يؤدى أيضاً إلى صغر حجم الأجهزة التى يستخدم فيها .



الشكل (٢٣١) مضخم للإشارات ذات التردد المنخفض

مكون من ثلاث مراحل تضخيم باستخدام الترانزستور بدلا من الصمامات .

٣ – إنها تعمل بمجرد مرور التيار بها ، حيث أنها لا تحتاج إلى تسخين .

٤ – إنها تعمل على جهد أنودى ضعيف (فى حدود ١٠ فلط إذا قورن بالجهد الأنودى للصمامات الإلكترونية الذى يصل إلى ٣٠٠ فلط) . وينتج عن ذلك أن احتمالات الأعطال تكون أقل بكثير منها فى حالة الصمام الثلاثى .

ويبين شكل (٢٣١) رسماً تخطيطياً لدائرة بها مضخات ترانزستور بدلا من الصمامات الإلكترونية ،تستخدم فى تضخيم الإشارات ذات التردد المسموع. وهى تتكون من ثلاث مراحل . وهذه الدائرة تستخدم فى نفس الأغراض التى تستخدم فيها دائرة التضخيم ذات المرحلتين بصمامات إلكترونية كتلك التى سبق شرحها . ودائرة التضخيم المعطاة فى شكل (٢٣١) بنفس قيم مكوناتها تستخدم فى تضخيم جهد أنودى فى حدود ١٠ فلط . ويتم تضخيم الجهد فى هذه الدائرة باستخدام مقاومات ومكثفات فقط (أى دون استخدام ملفات أو محولات) .

الباب الرابع

أجهزة ارسال واستقبال الاشارات ذات التردد العالى

أبرز العلم الحديث ، وعلى الأخص بحوث الفضاء ، بعض المشاكل المرتبطة بطول المسافة بين جهاز الإرسال وجهاز الاستقبال ، الأمر الذى أدى إلى استخدام أجهزة الإرسال والأستقبال القوية ذات الحجم الصغير .

(٢١) طرق توليد التيارات العالية التردد (الموجات الكهرمغنطيسية) :

يمكن توليد نوعين من التيارات ذات التردد العالى أحدهما بذبذبة مخمدة والآخر بذبذبة قسرية . وفيما يلى شرح مبسط لكيفية توليد النوعين .

١ – توليد الذبذبات المخمدة (المضمحله) :

يمكن توليد التيارات العالية التردد أو الموجات الكهرمغنطيسية ذات التردد العالى ، بذبذبات مخمدة (مضمحلة) بواسطة دوائر مقفلة تعرف باسم دوائر التذبذب (أو دوائر التوليف) . وتتكون هذه الدوائر فى أبسط صورها عادة (شكل ٢٣٢) من مكثف (س) متصل على التوازى بملف تأثيرى (ل) ، وتوصل هذه الدائرة على التوازى بمصدر للطاقة (بطارية مثلا) لشحن المكثف إبتدائياً ، ثم يفصل مصدر الطاقة بعد ذلك . وبواسطة هذه الدائرة يمكن الحصول على الذبذبة الحرة أو الذبذبة المخمدة التى يمكن رؤية شكلها باستخدام جهاز راسم الذبذبات (الأوسيلسكوب) . وشكل الذبذبة الناتجة مماثل تماماً للنموذج (٥) الموضح فى الشكل (٢٣٢) . ويتم توليد الذبذبة المخمدة (المضمحلة) بالتسلسل التالى :

يشحن المكثف (س) بواسطة مصدر الطاقة حتى يتساوى جهد المكثف مع جهد المصدر . وعند غلق المفتاح لفصل مصدر الطاقة وتوصيل الملف (ل) على التوازى مع المكثف (س) فإن معدل تفريغ المكثف بالملف لا يتم بطريقة فجائية ، لأن الحث الذاتى للملف يجعل نمو تيار التفريغ بطيئاً . وفى أثناء نمو التيار يأخذ المجال الكهربائى فى المكثف فى التلاشى ، ويظهر بدلا منه فى الملف مجال مغنطيسى يتزايد حتى يبلغ نهايته العظمى ، وتتحول الطاقة الكهربائية التى كانت فى المكثف إلى طاقة مغنطيسية فى الملف .

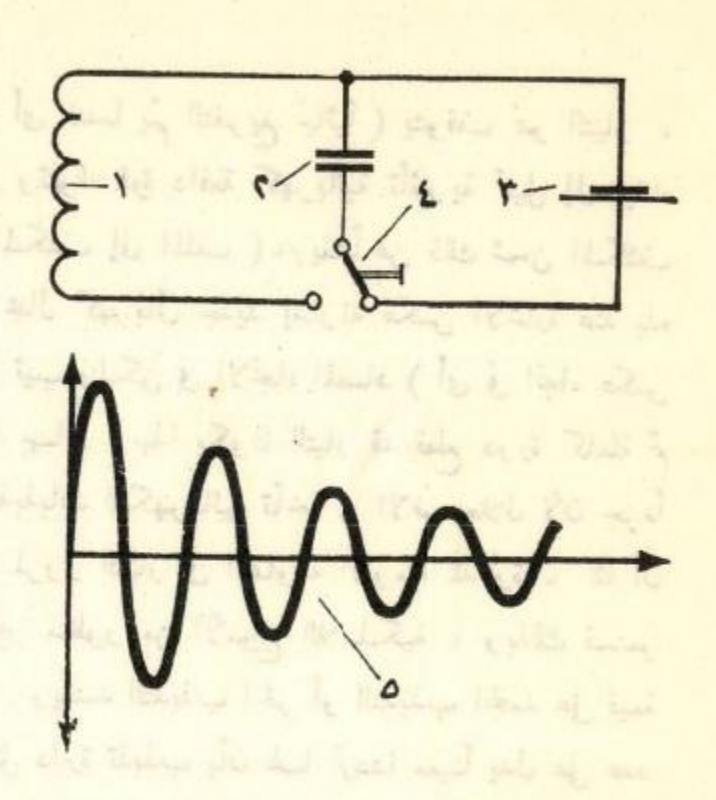
وعندما يتساوى جهد لوحى المكثف (أى عندما يتم التفريغ نهائياً) يتوقف نمو التيار ، وتأخذ خطوط القوى المغنطيسية فى الانكماش وتتولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية تميل إلى إبقاء مرور التيار فى نفس الاتجاه الأصلى (من المكثف إلى الملف)، وينشأ عن ذلك شحن المكثف فى الاتجاه المضاد ، وبذلك يتولد بالمكثف مجال كهربائى جديد إشارته عكس الاشارة عند بدء الشحن . وتتكرر العمليات السابقة بنفس الترتيب ولكن فى الاتجاه المضاد (أى فى اتجاه عكس الاتجاه الأصلى) ثم تعود إلى الحالة التى بدأت بها . وبهذا يكون التيار قد قطع دورة كاملة ثم تتلوها عدة دورات بنفس التتابع . غير أن الذبذبات الكهربائية تأخذ فى الاضمحلال لأن جزءاً من الطاقة الكهربائية يتبدد كحرارة ، نتيجة لمرور التيار فى المقاومة الأومية للدائرة ، كما أن جزءاً آخر من الطاقة ينطلق على هيئة إشعاع غير منظور من الأمواج اللاسلكية ، وبذلك تستمر ذبذبات الدائرة فى الاضمحلال حتى تبطل تماماً . ويعتمد التذبذب الحر أو التذبذب المخمد على قيمة المكثف (س) والملف (ل) . وتتميز كل دائرة تذبذب بأن لها ترددا معيناً يدل على عدد الذبذبات الحرة التى تحدث بها فى الثانية ، ويساوى :

$$د = \frac{١}{٢ ط \sqrt{ل س}}$$

وشكل هذه الترددات المخمدة يكون دائماً مماثلا للنموذج ٥ . ولا تصلح التيارات ذات الذبذبات المخمدة (المضمحلة) فى الإرسال للموجات الكهرمغنطيسية نظراً لعدم أهميتها . وإنما تستخدم عادة التيارات ذات الذبذبات غير المخمدة أو الذبذبات القسرية فى عمليات الإرسال والاستقبال اللاسلكية .

٢ – توليد الذبذبات القسرية (غير المخمدة) :

يمكن الحصول على ذبذبات غير مخمدة بإمداد دائرة التذبذب المخمد السابق شرحها بطاقة مساوية للطاقة المفقودة عن طريق بطارية، أو باستخدام صمام ثلاثى، أو عن طريق دوائر التغذية المرتدة (التغذية الرجعية) ، ويبين شكل (٢٣٣) إحدى هذه الدوائر حيث يقوم الصمام الثلاثى بعمليات التغذية المستمرة للطاقة المفقودة ، لما يتميز به من خاصية التكبير . أما دوائر التغذية الرجعية فتقوم بالتحكم فى الطاقة الخارجة من الصمام حتى تتساوى تماماً مع الطاقة المفقودة . وتتكون دوائر التغذية الرجعية من دائرة تذبذب ، وهى عبارة عن مكثف متغير ، وملف حثى ، ومن ملف آخر يسمى ملف التوليف . ويوضع ملف التوليف عادة على نفس القالب أو الإطار الذى يوضع عليه الملف الحثى الخاص بدائرة التذبذب ، فيحدث بينهما ترابط حثى وثيق . ويقوم الملفان فى هذه الحالة بعمل محول ملفاته الابتدائية والثانوية لهما حث متبادل ثابت .



الشكل (٢٣٢) رسم تخطيطى يوضح شكل الذبذبات المخمدة وكيفية توليدها

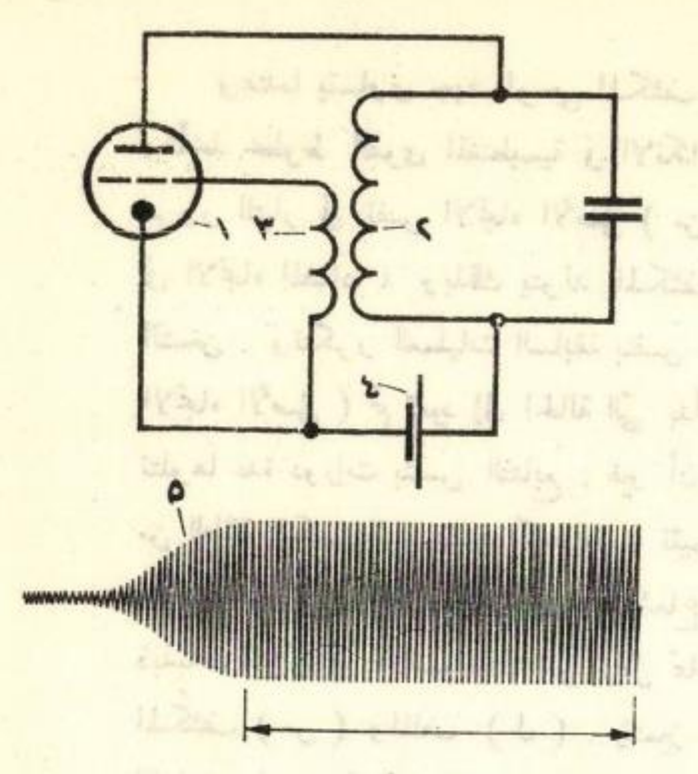
١ – ملف

٢ – مكثف

٣ – مصدر الطاقة الكهربائية

٤ – مفتاح قاطع (مغير)

٥ – نموذج لشكل الذبذبات المخمدة الناتجة



الشكل (٢٣٣) دائرة تغذية مرتدة

١ – صمام ثلاثى

٢ – دائرة توليد ذبذبات

٣ – ملف توليف

٤ – مصدر الطاقة الكهربائية

٥ – نموذج لشكل الذبذبا ت غير المخمدة الناتجة.

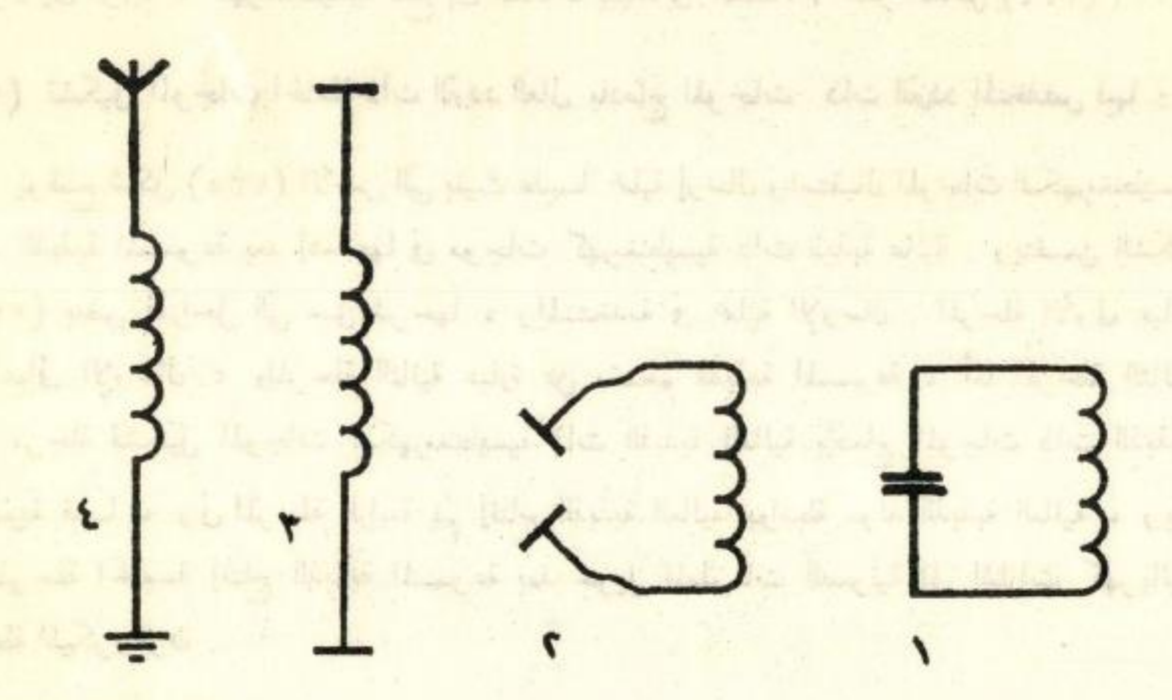
ويوصل ملف التوليف هذا بين شبكة الصمام الثلاثى والكاثود، بينما توصل دائرة التذبذب فى دائرة الأنود كما فى شكل (٢٣٣) .

وعندما يقوم الصمام بشحن المكثف تتولد ذبذبة مخمدة فى دائرة التذبذب . وتؤدى هذه الذبذبة الحادثة إلى نقل جزء من الجهد المتولد فيها إلى الملف المولف (الملف القارن) عن طريق الترابط الحثى الوثيق بينهما . ويؤثر الملف القارن بدوره على التيار الأنودى للصمام الثلاثى، وبفضل خاصية التكبير فى هذا النظام فإن التيار الأنودى المتكون ، تزيد قيمته على قيمة التيار الأصلى الناتج من دائرة التذبذب . وينتقل جزء من طاقة دائرة التذبذب الموصلة بالأنود مرة أخرى إلى الملف القارن (الملف المولف) الموصل بالشبكة ، فترتفع درجة الذبذبات وتصل إلى اتساعها النهائى . وبذلك تتذبذب المجموعة ذبذبات مستمرة غير مخمدة وثابتة الاتساع .

ويتوقف التذبذب فى هذه الدائرة على تردد القوة الدافعة الكهربائية التى تمدها بالطاقة، وعلى

سعة المكثف (س) وعلى الحث الذاتى للملف (ل) . ويمكن حساب التذبذب طبقاً لقاعدة تومسون كما يلى :

$$د = \frac{1}{2 ط \sqrt{ل س}}$$



الشكل (٢٣٤) كيفية تحويل دوائر التذبذب المغلقة إلى دوائر مفتوحة

١ – دوائر تذبذب مغلقة .

٢ – لوحات المكثف مفصولة عن بعضها البعض .

٣ – دائرة تذبذب مفردة (مشدودة)

٤ – دائرة تذبذب مفتوحة تستخدم كهوائى لجهاز الإرسال أو الاستقبال .

ودوائر التذبذب القسرى التى أشرنا إليها تسمى دوائر الرنين . وهى تستخدم لإشعاع طاقة كهرمغنطيسية تستخدم فى عمليات الإرسال والاستقبال اللاسلكى ، وتضبط دوائر الرنين والملفات المؤلفة على تردد الرنين ، لحصول على أكبر قيمة ممكنة للتيار والجهد .

ومن مميزات دوائر توليد الذبذبات القسرية أن ترددها مستمر ولا يتعرض للاضمحلال ولا يتوقف على قيمة المكثف والملف الحثى بدائرة الرنين فقط ، وإنما يحدد ترددها كذلك تردد القوة الدافعة الكهربائية التى تمدها بالطاقة المفقودة فيها أو تردد التيار الأنودى للصمام الثلاثى ، كما تلعب قيمة الملف المؤلف دورا هاما فى تحديد التردد .

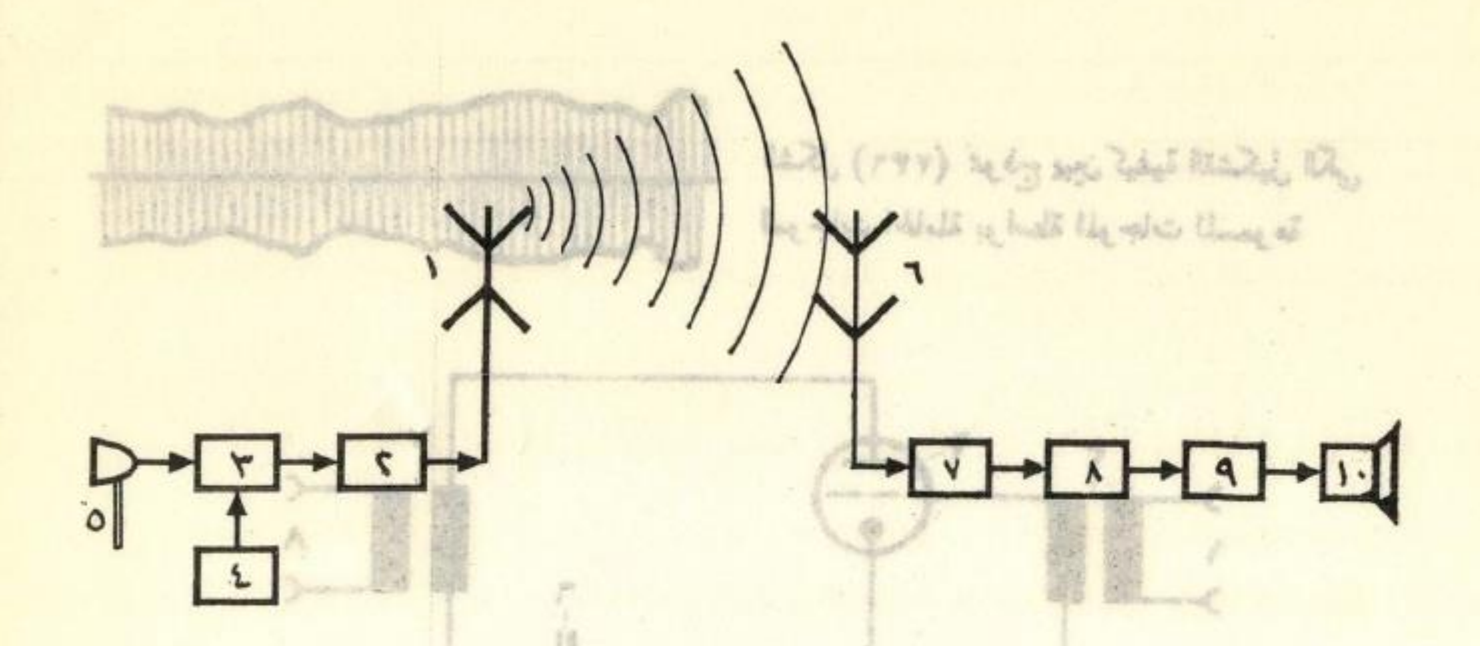
ويمكن الكشف عن المجالات الكهربائية والمغنطيسية الناتجة فى هذه الدوائر بواسطة أجهزة قياس دقيقة جداً . وحتى يكون هذا الكشف دقيقاً يفضل أن تتم القياسات فى الدائرة نفسها أو فى أقرب مكان من الدائرة . ويرجع ذلك إلى أن نصف قطر الإشعاع الكهرمغنطيسى الناتج صغير للغاية، كماأنه عند تحول دوائر التذبذب المغلقة إلى دوائر مفتوحة ، فإن الذبذبات الكهرمغنطيسية تتحول إلى موجات كهرمغنطيسية تشع إلى مسافات بعيدة فى الفضاء ، انظر الشكل (٢٣٤) .

(٢٢) تشكيل الموجات الحاملة ذات التردد العالى بادماج الموجات ذات التردد المنخفض فيها :

يوضح شكل (٢٣٥) الأسس التى بنيت عليها عملية إرسال واستقبال الموجات الكهرمغنطيسية ذات الذبذبة المسموعة بعد إدماجها فى موجات كهرمغنطيسية ذات ذبذبة عالية . ويتضمن الشكل (٢٣٥) بعض المراحل التى سبق شرحها ، والمستخدمة فى عملية الإرسال . المرحلة الأولى عبارة عن هوائى الإرسال ، والمرحلة الثانية عبارة عن مضخم للذبذبة المسموعة ، أما المرحلة الثالثة فهى مرحلة تشكيل الموجات الكهرمغنطيسية ذات الذبذبة العالية بإدماج الموجات ذات الذبذبة المسموعة فيها ، وفى المرحلة الرابعة يتم إنتاج الذبذبة العالية بواسطة مولد الذبذبة العالية ، ويتم فى المرحلة الخامسة إنتاج الذبذبة المسموعة بعد تحويل المعلومات الصوتية إلى إشارات كهربائية بواسطة الميكروفون .

وفى الجانب الآخر من الشكل تظهر كيفية الاستقبال . فعند خروج الموجات ذات الذبذبة العالية حاملة الموجات ذات التردد المسموع المدمجة فيها عن طريق هوائى الإرسال ، تسير هذه الموجات فى الفضاء لمسافات بعيدة حاملة موجات الصوت معها ، وبعد اصطدام الموجات بهوائى جهاز الاستقبال المبين بالمرحلة (٦) ، حيث تضخم فى المرحلة (٧) . وفى المرحلة الثامنة تتم عملية الكشف أو فك التشكيل لفصل الموجات ذات التردد المسموع عن الموجات الحاملةحيث يتم تضخيمها فى المرحلة التاسعة ، ومن مضخم التردد المسموع إلى مكبرات الصوت المبينة فى المرحلة رقم (١٠) لسماعها . ويمكن تعريف عملية تشكيل الموجات الكهرمغنطيسية ذات الذبذبة العالية فى أبسط صورها بأنها الإمكانية الفنية لطبع الموجات الصوتية ذات التردد المنخفض على موجات كهرمغنطيسية ذات تردد عال بطريقة مناسبة . وبهذه الطريقة يمكن إرسال الإشارات ذات التردد المنخفض فى الفضاء لمسافات بعيدة ، ثم استقبالها وسماعها من بعد بواسطة أجهزة الاستقبال .

ولشرح عملية الإدماج أو التشكيل والطرق المتبعة فيها ، يجب التفرقة بين التشكيل الكمى للموجات الكهرمغنطيسية الحاملة بإدماج التردد المسموع فيها وبين تشكيل التردد (الذبذبة) للموجات الكهرمغنطيسية الحاملة بإدماج الموجات ذات التردد المنخفض فيها .



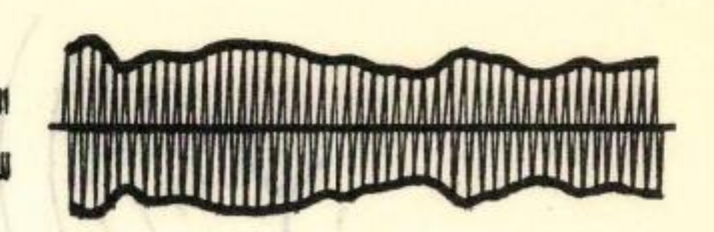
الشكل (٢٣٥) أساس عملية الإرسال والاستقبال اللاسلكية

١ – هوائى جهاز الإرسال
٢ – مرحلة التضخيم
٣ – مرحلة تشكيل الموجات الحاملة
٤ – مرحلة توليد الذبذبات العالية
٥ – الميكروفون
٦ – هوائى جهاز الاستقبال
٧ – مرحلة تضخيم الموجات ذات التردد العالى
٨ – مرحلة فصل الموجات المسموعة عن الموجات ذات التردد العالى
٩ – مرحلة تضخيم الموجات المسموعة
١٠ – مكبرات الصوت

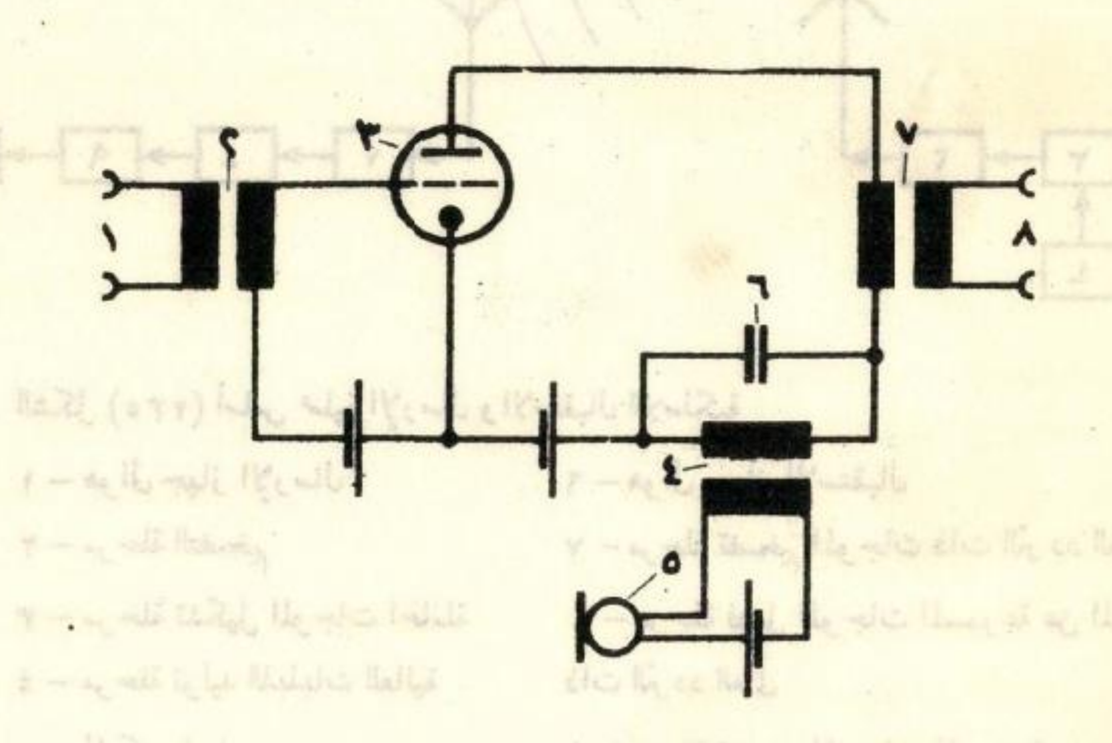
(٢٣) تشكيل سعة الموجات الحاملة (التشكيل الكمى للموجة الحاملة) :

يتم إشعاع الذبذبة الكهرمغنطيسية غير المخمدة فى الفضاء على هيئة موجات كهرمغنطيسية ذات سعة ثابتة . وقد سبق أن بينا فى شكل (٢٣٢) تمثيلا للموجات الصوتية ذات التردد المسموع الصادر من ميكروفون مثلا . كما بينا فى شكل (٢٣٣) تمثيلا للموجات غير المخمدة الحاملة ذات التردد العالى . وعند إدماج الموجات الصوتية فى الموجات الحاملة ، فإن سعة الموجات الحاملة غير المخمدة تتغير تبعاً لسعة الذبذبات الصوتية ، ونتيجة لهذا الإدماج نحصل على الموجة اللاسلكية المبينة فى شكل (٢٣٦) .

ويمثل شكل (٢٣٧) رسماً تخطيطياً لإحدى الدوائر المستخدمة فى مرحلة بسيطة من مراحل إدماج السعة للموجات الكهرمغنطيسية الصوتية الصادرة من ميكروفون ، مع الموجات الكهرمغنطيسية ذات الذبذبة العالية .



الشكل (٢٣٦) نموذج يبين كيفية التشكيل الكمى للموجات الحاملة بواسطة الموجات المسموعة



الشكل (٢٣٧) مكونات مرحلة التشكيل

١ – دخول الموجات الحاملة ذات التردد العالى
٢ – محول دخول
٣ – صمام ثلاثى
٤ – محول الموجات المسموعة
٥ – ميكروفون
٦ – مكثف مانع لمرور الموجات ذات التردد العالى
٧ – محول خروج
٨ – مرحلة التشكيل الكمى للموجات الحاملة

(٢٤) تشكيل تردد الموجات الحاملة :

عند استخدام الموجات ذات الذبذبة العالية جداً فى حمل الموجات ذات التردد المسموع ، يفضل دائماً أن تتم عملية تشكيل تردد الموجات الحاملة (التى لا يقل ترددها عن ٥٠ ميجاسيكل) بدلا من عملية التشكيل الكمى بواسطة الموجات ذات التردد المسموع . وفى هذه الحالة تظل سعة الموجات الحاملة كما هى (لا تتغير قيمة ذروتها) ، وإنما تتغير فقط ذبذبتها نتيجة لجمع وطرح الذبذبات المسموعة منها ، كما هو مبين فى شكل (٢٣٨) .

الشكل (٢٣٨) نموذج تشكيل تردد الموجات الحاملة بواسطة الموجات المسموعة
١ – الموجات الحاملة
٢ – موجات صوتية جيبية الشكل
٣ – موجات حاملة تم تشكيل ترددها بواسطة الموجات السمعية .

(٢٥) أجهزة استقبال الموجات ذات التردد العالى :

بعد تشكيل الموجات الكهرمغنطيسية ذات التردد العالى بإدماج الموجات الكهرمغنطيسية ذات التردد المسموع فيها ، ترسل فى الفضاء لتصطدم بهوائى جهاز الاستقبال . وتمر هذه الموجات المشكلة ذات التردد العالى فى دائرة هوائى جهاز الاستقبال على هيئة ذبذبات ذات جهد ضعيف جداً . ويصير تكبيرها على مرحلتين أو أكثر بمضخمات التردد العالى . ويقوم جهاز الاستقبال بعد ذلك باختيار محطة الإذاعة المطلوبة من بين الموجات الكهرمغنطيسية العديدة ذات الترددات المختلفة المنتشرة فى الفضاء . وتستخدم لهذا الغرض دائرة كهربائية تسمى دائرة الاختيار . وتتكون من ملف ومكثف هوائى متغير . ويضبط تردد دائرة الاختيار بحيث يحدث التردد فيها رنيناً مع تردد الموجات المختارة المطلوب استقبالها . وبذلك يكون التيار المار فى دائرة الرنين والمناظر للموجات المختارة أكبر ما يمكن ، بينما تكون التيارات الأخرى المناظرة لأى نوع آخر من الموجات المنتشرة فى الفضاء أقل ما يمكن . ثم يمر هذا التيار المناظر للموجة المختارة إلى دوائر الفصل أو دوائر الكشف ، حيث تفصل الموجات الصوتية ذات التردد المسموع عن الموجات الحاملة ذات التردد العالى غير المسموع ، وتضخم بمضخمات التردد المنخفض ، ومنه إلى مكبرات الصوت . وتتم عملية الفصل عادة باستخدام مقوم إلكترونى ، أو مقوم ترانزستور أو صمام ثنائى شبه موصل .

ويبين شكل (٢٣٩) رسماً تخطيطياً لعملية فصل الموجات ذات التردد المسموع من الموجات الحاملة بطريقة التقويم . وكذلك أجهزة تحويل الموجات المشكلة ذات التردد العالى إلى موجات ذات تردد مسموع .

(٢٦) مدى إرسال الموجات ذات التردد العالى :

أدى تطور العلاقات بين هندسة الاتصالات اللاسلكية وبين تردد الموجات الكهرمغنطيسية المستخدمة فى حمل الموجات الصوتية ، إلى معرفة المدى الذى يمكن أن تصل إليه الموجات ذات الترددات المختلفة .

الشكل (٢٣٩) كيفية فصل الموجات السمعية عن الموجات الحاملة بعد تشكيلها بطريقة التشكيل الكمى

١ – ذبذبة حاملة معدلة بطريقة التشكيل الكمى

٢ – ذبذة حاملة تم تقويمها

٣ – قيمة متوسطة لذبذبة لا دورية تم تشكيلها بواسطة ذبذبة سمعية صادرة من مكبر الصوت.

ويمكن التعبير عن الموجات عادة إما بالترددات أو بطول الموجة .

وطول الموجة هو المسافة التى يمكن أن تقطعها الموجة خلال دورة واحدة .

ويجب فى هذا المجال الرجوع إلى طرق الاتصال اللاسلكية المنصوص عليها فى نهاية هذا الجزء .

نوع الموجة	متوسط طول الموجة	مدى التردد	نصف قطر مدى الإرسال	يتم الإنتشار أساسا عن طريق
موجة طويلة جداً	٣٠ كم – ٣ كم	من ١٠ إلى ٣٠ كيلوسيكل	إلى أقصى مسافة ممكنة دون اضمحلال	الموجات الأرضية
موجة طويلة	٣ كم – ٣٠٠ متر	من ٣٠ إلى ٣٠٠ كيلوسيكل	حتى ١٠٠٠ كيلومتر	الموجات الأرضية
موجة متوسطة	٣٠٠ متر – ٣٠ متر	من ٠,٣ إلى ٣ ميجاسيكل	حوالى ١٠٠ كيلومتر	الموجات الأرضية أثناء النهار الموجات الفضائية أثناء الليل
موجة قصيرة	٣٠ متر – ٣ متر	٣ إلى ٣٠ ميجاسيكل	إلى أقصى مسافة ممكنة ولكن يحدث لها اضمحلال	الموجات الفضائية
موجات ذات تردد عال جداً	٣ متر – ٣٠ سم	٣٠ إلى ٣٠٠ ميجاسيكل	حتى ١٠٠ كيلومتر	انتشار شبه بصرى (مثل انتشار موجات الضوء)
موجات ديسمترية	٣٠ سم فأقل	٣٠٠–٣٠٠٠ ميجاسيكل	حوالى ١٠٠٠ كيلومتر	انتشار شبه ضوئى

ملحوظة :

الكيلو سيكل = ١٠٠٠ ذبذبة فى الثانية

الميجاسيكل = ١,٠٠٠,٠٠٠ ذبذبة فى الثانية .

وهناك علاقة وثيقة فيما بين البيانات المعطاة فى الجدول ، أى بين متوسط طول الموجة ومدى التردد ، وسرعة الضوء .

ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالمعادلة الآتية :

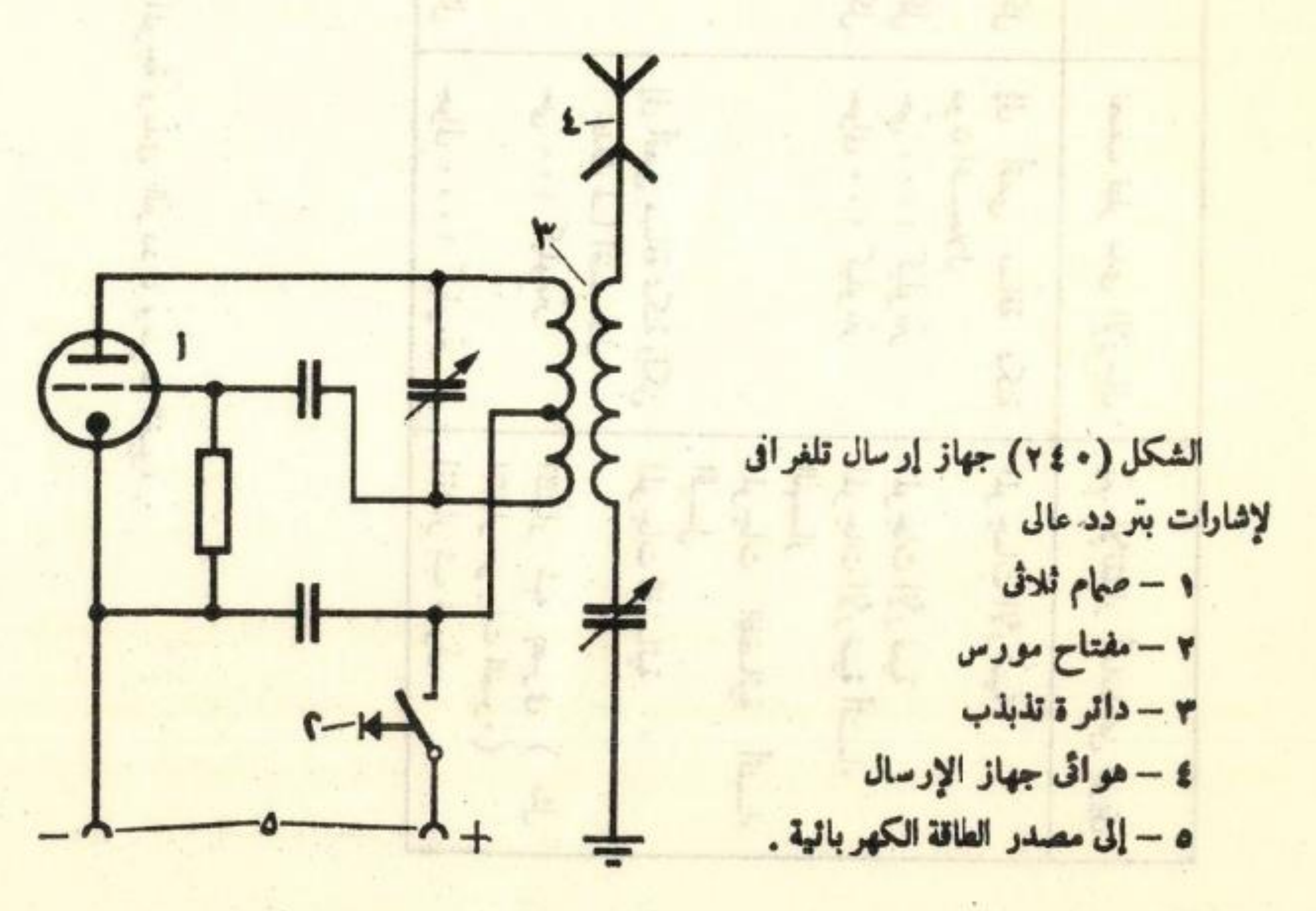
$$\text{متوسط طول الموجة} = \frac{\text{سرعة الضوء}}{\text{مدى التردد}} = \frac{\text{ع}}{\text{د}}$$

حيث أن سرعة الضوء ع تساوى ۳۰۰٫۰۰۰ كم فى الثانية .

(۲۷) أجهزة الإرسال التلغرافى ذات التردد العالى :

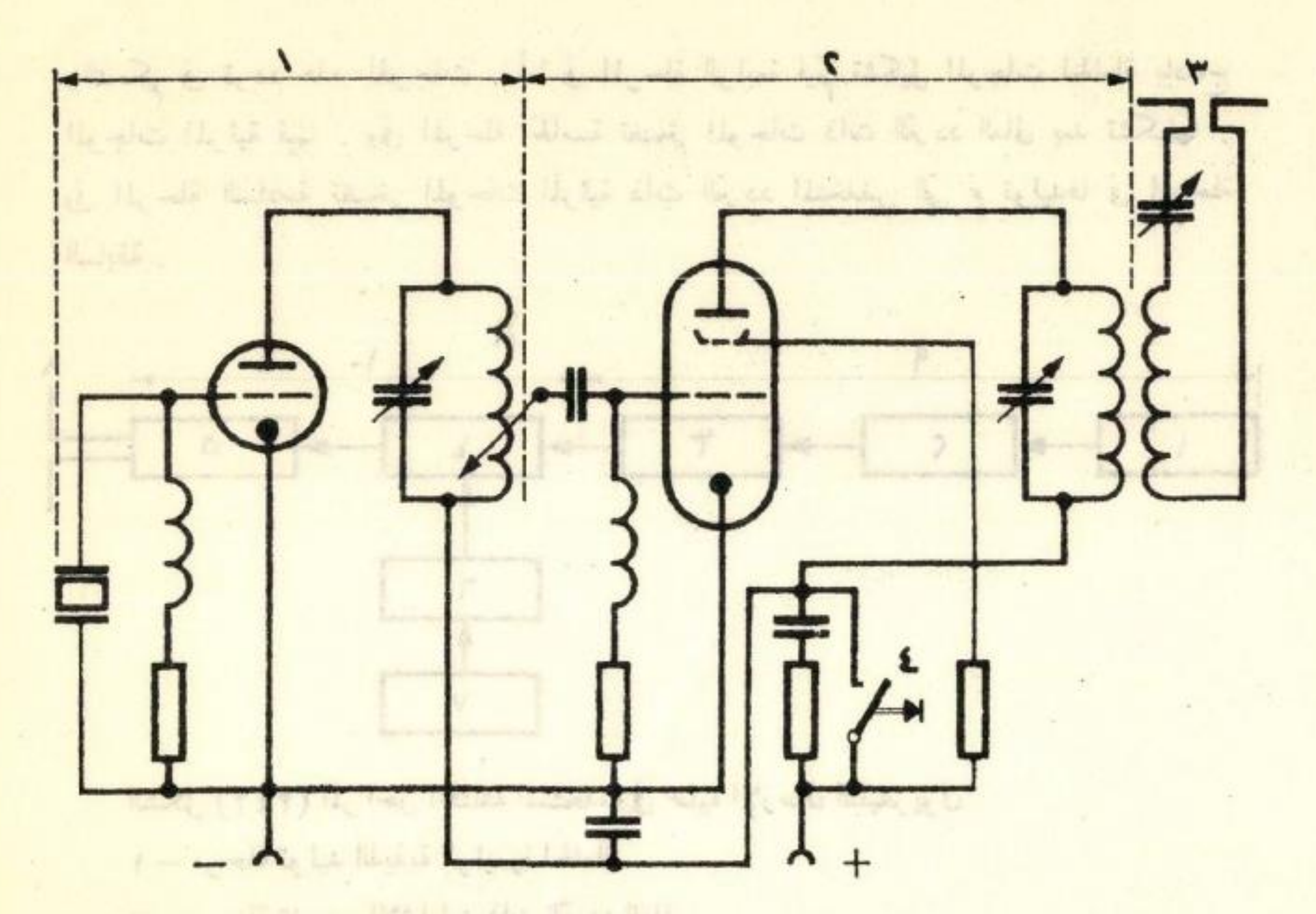
يوجد العديد من التصميمات المختلفة لأجهزة الإرسال التلغرافى ذات التردد العالى . وتتراوح أحجامها بين حجم صندوق الكبريت وحجم عمارة ضخمة ، كما تتراوح قدرتها بين وات واحد ومئات الكيلووات .

ويبين شكل (۲٤۰) رسما تخطيطيا لدائرة مبسطة جدا من الدوائر المستخدمة فى أجهزة الإرسال التلغرافى ، حيث يقوم مفتاح مورس بعملية قطع ووصل التيار الأنودى المرسل . أى أن المفتاح يقوم بتحويل المعلومات المكونة من نقط وشرط إلى إشارات كهربائية متقطعة . ونصف قطر مدى إرسال هذه الأجهزة صغير نسبيا ، لا يتعدى بضعة كيلو مترات ، وتستخدم لهذا الغرض الموجات ذات التردد المتوسط أو الموجات ذات التردد العالى .



الشكل (۲٤۰) جهاز إرسال تلغرافى لإشارات بتردد عالى

١ – صمام ثلاثى
٢ – مفتاح مورس
٣ – دائرة تذبذب
٤ – هوائى جهاز الإرسال
٥ – إلى مصدر الطاقة الكهربائية .



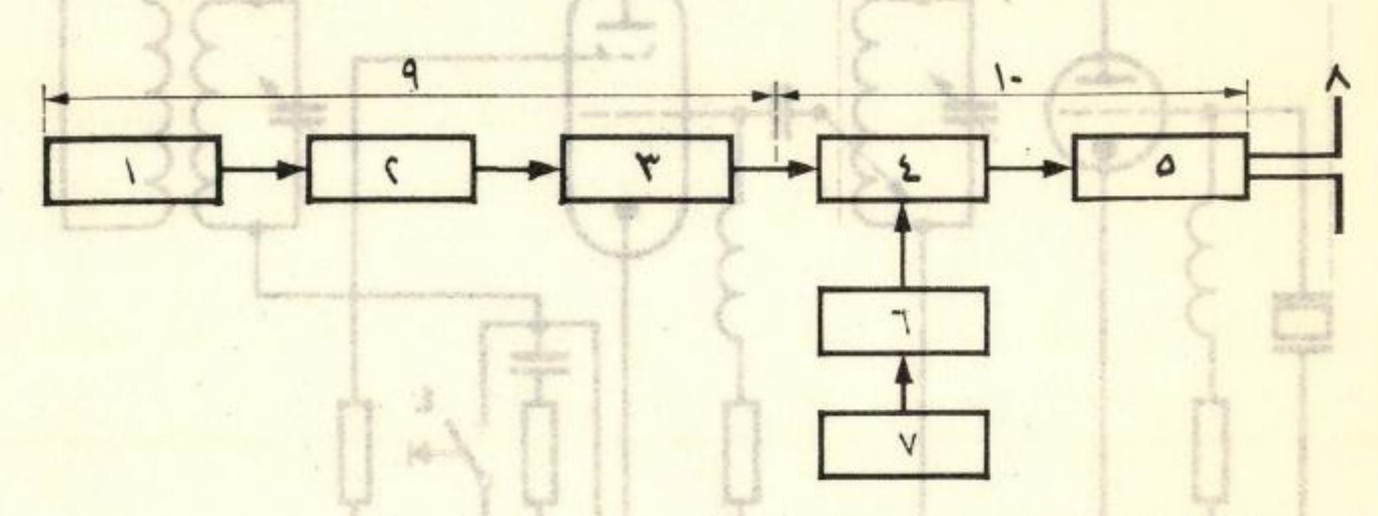
الشكل (٢٤١) جهاز إرسال تلغرافى بالتحكم البلورى لعملية توليد التردد العالى جدا
١ – مرحلة توليد الذبذبة الرئيسية ويتم التحكم فيها بواسطة بلورة
٢ – مرحلة التضخيم ٣ – هوائى جهاز الإرسال ٤ – مفتاح مورس .

ويبين شكل (٢٤١) رسما تخطيطيا لدائرة مستخدمة فى الإرسال التلغرافى ، ويفضل دائما أن يكون الإرسال التلغرافى ثابت التردد . ويستخدم التحكم البلورى حاليا فى تشغيل أجهزة الإرسال التلغرافى الهامة . ومن الشائع استخدام بلورة الكوارتز للتحكم فى التردد الناتج من أجهـــزة الإرسال ، وتوضع بلورة الكوارتزبين لوحين معدنيين ، ويحدث أقوى تذبذب وأدق اهتزاز للبلورة الكوارتز عندما يكون تردد القوة الدافعة الكهربائية المسلطة على اللوحين مساويا للتردد الطبيعى للبلورة ، أى عند حدوث حالة الرنين بينهما . وتتميز البلورة بحدة رنينها وقلة اضمحلال اهتزازاتها . ويعاب عليها ارتفاع ثمنها وسهولة كسرها .

(٢٨) أجهزة الارسال التليفزيونى ذات التردد العالى :

يبين شكل (٢٤٢) رسما تخطيطيا للمراحل المستخدمة فى الإرسال التليفزيونى ، وهى نفس المراحل المستخدمة فى الاتصالات اللاسلكية عموما . فيتم فى المرحلة الأولى توليد الموجات الحاملة ذات الذبذبة العالية . وتضخم فى المرحلة الثانية ، وفى المرحلة الثالثة تتم عملية الضبط

والتحكم فى تردد هذه الموجات . أما فى المرحلة الرابعة فيتم تشكيل الموجات الحاملة بإدماج الموجات المرئية فيها . وفى المرحلة الخامسة تضخم الموجات ذات التردد العالى بعد تشكيلها . وفى المرحلة السادسة تضخم الموجات المرئية ذات التردد المنخفض التى تم توليدها فى المرحلة السابقة .



الشكل (٢٤٢) المراحل المختلفة المستخدمة فى عملية الإرسال التليفزيونى

١ — مرحلة توليد الذبذبة الرئيسية الحاملة

٢ — مرحلة تضخيم الإشارات ذات التردد العالى

٣ — مرحلة مضاعفة التردد .

٤ — مرحلة تشكيل الموجات الحاملة .

٥ — مرحلة تضخيم نهائية .

٦ — مرحلة تضخيم الإشارات ذات التردد السمعى .

٧ — مرحلة تحويل الأصوات إلى إشارات بتردد سمعى

٨ — هوائى جهاز الإرسال .

٩ — مرحلة توليد الذبذبة الحاملة وتضخيمها .

١٠ — مرحلة تشكيل الموجات الحاملة بواسطة الإشارات المسموعة

وقبل أن نتكلم عن مرحلة الإرسال التليفزيونى يجب أن نتناول بعض المشاكل الخاصة بعملية الإرسال ، وأهمها :

١ — مشكلة التزامن أو مشكلة ضبط التوقيت فى عملية الإرسال والاستقبال التليفزيونى .

٢ — مشكلة انتشار الموجات التليفزيونية فى خطوط مستقيمة وكيفية التغلب عليها باستخدام محطات الترحيل .

٣ — مشكلة إرسال الصوت والصورة وكيفية استقبالها معا .

(١) مشكلة التزامن أو مشكلة ضبط التوقيت فى عملية الارسال والاستقبال التليفزيونى :

يتم إسقاط صورة الجسم المراد إرساله على شاشة الإيكونوسكوب (حاجز الموزايك) بعد تسليط الإضاءة المناسبة على هذا الجسم .

وكما سبق شرحه ، تتكون شاشة الإيكونوسكوب من ملايين الخلايا الكهرضوئية ، وكل خلية كهرضوئية من هذه الخلايا عبارة عن مكثف . وعند سقوط الصورة على الشاشة تشحن هذه الملايين من المكثفات بواسطة الخلايا الضوئية . ويعتمد تيار الشحن فى كل مكثف على شدة الإضاءة الواقعة على الخلية الكهرضوئية المناظرة له . أى أن التيار يعتمد على شدة الإضاءة الواقعة على هذه النقطة من صورة الجسم التى يقع تحتها هذا المكثف . وبذلك تترجم الصورة إلى ملايين النقط المتلاصقة ، التى تمثلها ملايين المكثفات المشحونة بتيارات تتناسب شدتها مع شدة الإضاءة الواقعة على كل نقطة من الصورة . ولإرسال هذه الصورة يولد بجهاز الإرسال شعاع إلكترونى يتم توجيهه بكيفية معينة ، بحيث يقوم بمسح الشاشة نقطة وراء نقطة ، وصفا إثر صف . وللقيام بعملية التوجيه بطريقة سليمة ومضبوطة وبسرعة معينة يزود جهاز الإرسال بملفات حارفة (ملفات موجهة) توضع فى طريق الشعاع الإلكترونى ويسلط عليها جهد له شكل أسنان المنشار لتوجيه هذا الشعاع أفقيا ورأسيا بنظام معين وبسرعة معينة .

وعندما يقع الشعع على المكثفات المختلفة ، فإنه يؤدى إلى تفريغ هذه المكثفات الواحد تلو الآخر وبترتيب معين . وينتج من كل مكثف تيار تفريغ تتناسب شدته مع شدة الإضاءة الواقعة على هذه النقطة من الصورة التى تناظر هذا المكثف ، ثم ترسل تيارات التفريغ هذه وبنفس الترتيب إلى جهاز الاستقبال بعد تكبيرها وحملها بواسطة موجات ذات تردد عال .

ولضمان إرسال واستقبال تيارات التفريغ للمكثفات المختلفة بنفس الترتيب تستخدم بأجهزة الارسال دوائر نبضية أو دوائر ضمان ضبط التوقيت ، تقوم بتجزئة تيارات التفريغ الناتجة وإرسالها على هيئة نبضات متتالية ، وبترتيب معين ، للحصول فى جهاز الاستقبال على صورة مماثلة للصورة المرسلة . فإذا قام الشعاع فى جهاز الإرسال بمسح أول نقطة فى الصف العلوى الأفقى للصورة من اليسار فإن تيار التفريغ الناتج من أول مكثف يرسل ليتم استقباله فى جهاز الاستقبال التليفزيونى . ويسلط هذا التيار على الملفات الحارفة فى جهاز الاستقبال ليوجه الشعاع الإلكترونى الموجود فى هذا الجهاز لإضاءة النقطة العليا اليسرى فى الصف الأفقى العلوى لشاشة الجهاز . وهكذا نقطة وراء نقطة حتى نهاية الصف الأفقى الأول . وعندئذ ينخفض الجهد الحارف ويتحرك الشعاع الإلكترونى بسرعة ليقوم بمسح الصف الأفقى التالى من اليسار إلى اليمين . وهكذا حتى ينتهى مسح الشاشة ويتحرك الشعاع الإلكترونى فى جهاز الاستقبال بنفس الطريقة وبنفس تزامن الشعاع الإلكترونى فى جهاز الإرسال ، وذلك عن طريق دوائر ضبط التوقيت الموجودة

فيه . وبذلك نحصل على صورة مماثلة تماما للصورة المرسلة من حيث الشكل وشدة الإضاءة والترتيب .

(١) مشكلة انتشار الموجات التليفزيونية فى خطوط مستقيمة وكيفية التغلب عليها باستخدام محطات الترحيل :

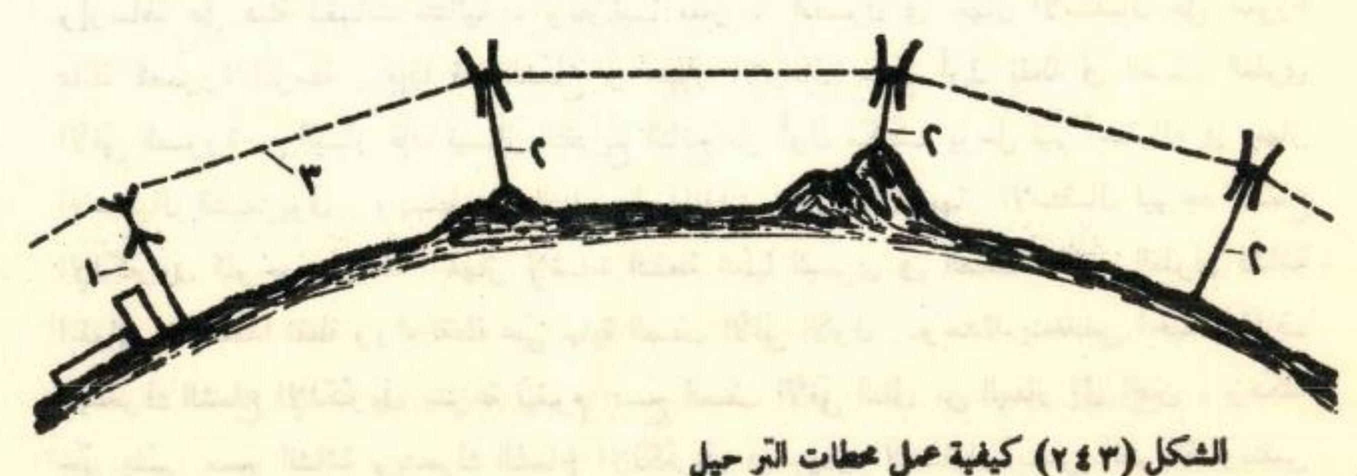
هناك مشكلة مرتبطة بالإرسال التليفزيونى سبق أن أشرنا إليها ، وهى أن الموجات العالية التردد جدا تسلك سلوكا شبه بصرى ، أى أن الموجات تظهر كما لو أنها موجات ضوئية وليست موجات حاملة ، وتزيد هذه الظاهرة وضوحا بازدياد تردد الموجات .

ومن خصائص هذه الموجات أنها تنتشر فى خطوط مستقيمة .

ومعنى ذلك أن الموجات الكهرمغنطيسية الخاصة بالتليفزيون والمنبثة من هوائى أجهزة الإرسال ، تسير فى خطوط مستقيمة ، وأنها لا تسير فى منحنى مواز لسطح الأرض ، أى أن هذه الموجات تبتعد عن الأرض كلما زادت المسافة بين محطة الإرسال وبين أجهزة الاستقبال ، لذلك يجب أن يكون هوائى أجهزة الاستقبال أعلى وأعلى كلما بعدت المسافة عن محطات الإرسال . وحيث أن ارتفاع الهوائى لابد أن يكون محدوداً لاعتبارات كثيرة من ناحية التصميم ومن الناحية الاقتصادية ، لذلك تستخدم محطات تسمى محطات الترحيل ، تعمل على جعل الموجات العالية التردد جدا والمستخدمة فى الإرسال التليفزيونى قريبة من الأرض .

وتنشأ هذه المحطات على مسافات تتراوح بين ٦٠ كيلو متر و ٨٠ كيلو متر .

ويمكن توجيه هذه الموجات باستخدام هوائيات ذات تصميم خاص (هوائيات على شكل قطع ناقص غالبا ، حيث أن الضوء يوجه بواسطة مرايا) أى أن محطات الإرسال التليفزيونى تشع الموجات على هيئة موجات كهرمغنطيسية موجهة . وتقوم محطات الترحيل باستقبالها وتضخيمها ثم إعادة إشعاعها ، بحيث تبقى هذه الموجات موازية لسطح الأرض كلما أمكن ، وبذلك يمكن استقبالها من مسافات بعيدة ، انظر شكل (٢٤٣) الذى يبين كيفية وضع محطات الترحيل :



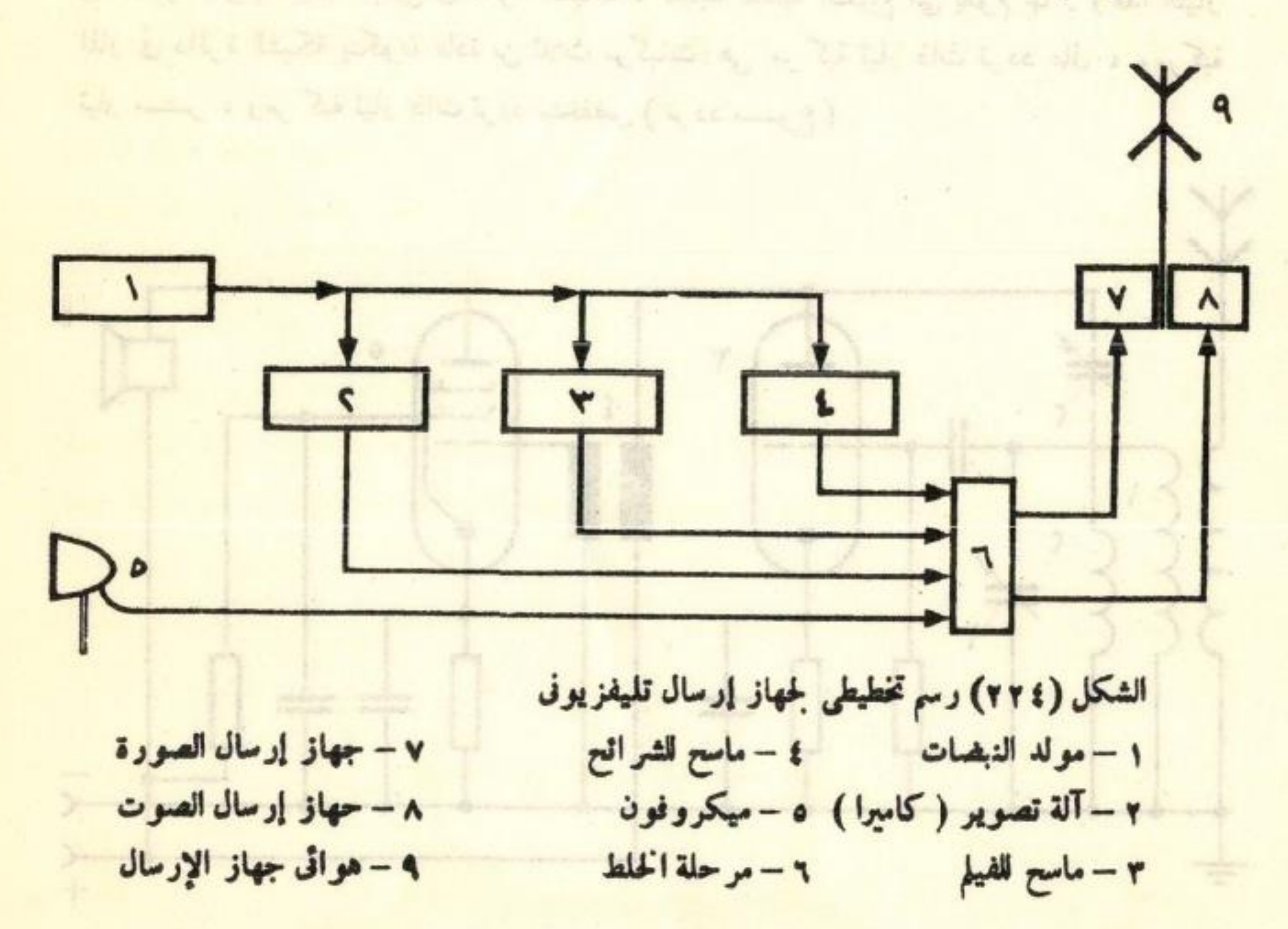
الشكل (٢٤٣) كيفية عمل محطات الترحيل

١ — محطة إرسال ٢ — محطة ترحيل ٣ — الموجات المنتشرة

(٣) مشكلة إرسال الصوت والصورة وكيفية استقبالهما معا :

يوضح شكل (٢٤٤) رسما تخطيطيا لأحد أجهزة الإرسال التليفزيونى .

وهو يتكون من جهازى إرسال بهما مصدر مشترك للطاقة وهوائى مشترك . ويستخدم أحد هذين الجهازين فى إرسال الموجات الضوئية الخاصة بالصورة بعد إدماجها فى موجات حاملة ذات تردد عال جدا ، وقد سبق شرح هذا الجهاز ، فى حين يستخدم الجهاز الآخر فى إرسال الموجات الصوتية المسموعة بعد إدماجها فى موجات حاملة ذات تردد عال . والتصميم الأساسى لهذا الجهاز الأخير لا يختلف كثيرا عن تصميم أجهزة الإرسال ذات التردد العالى المستخدمة فى الراديو ، غير أن التردد المستخدم فى إرسال الصوت فى الأجهزة التليفزيونية يختلف عن التردد المستخدم فى أجهزة الراديو العادية بحوالى ٥,٥ ميجا سيكل إلى ٦,٥ ميجاسيكل حتى لا يتداخل معها .



الشكل (٢٢٤) رسم تخطيطى لجهاز إرسال تليفزيونى

١ – مولد النبضات
٢ – آلة تصوير (كاميرا)
٣ – ماسح للفيلم
٤ – ماسح للشرائح
٥ – ميكروفون
٦ – مرحلة الخلط
٧ – جهاز إرسال الصورة
٨ – جهاز إرسال الصوت
٩ – هوائى جهاز الإرسال

(٢٩) أجهزة استقبال موجات الراديو ذات التردد العالى :

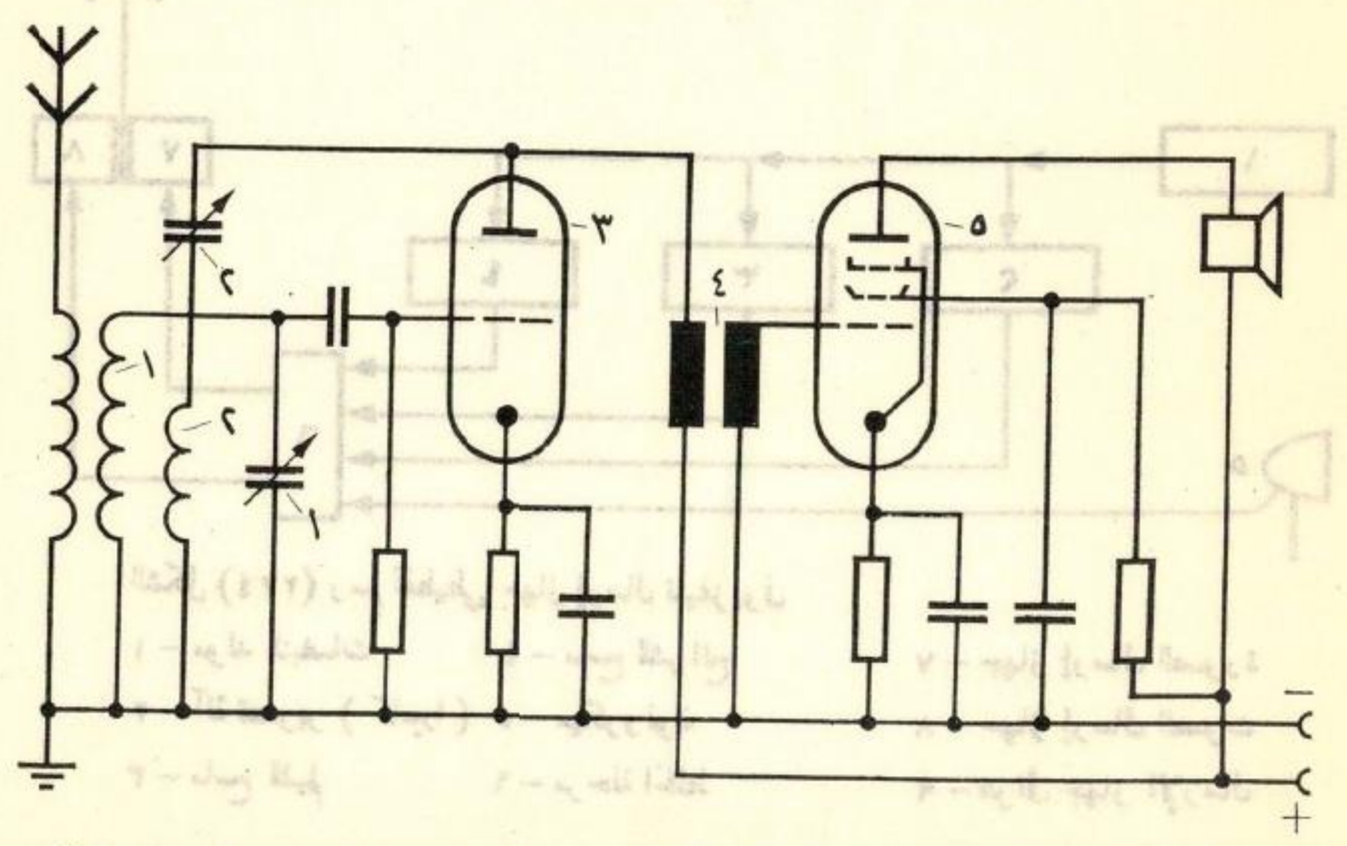
سبق أن ذكرنا عند الكلام عن عملية إدماج الموجات ، أنه يجب فصل الموجات الحاملة ذات التردد العالى عن الموجات الصوتية ذات التردد المسموع ، فى أجهزة الاستقبال عن طريق عملية التقويم حتى يمكن سماعها . وتستخدم لهذا الغرض أنواع شتى من المقومات .

تم عملية فصل الموجات المسموعة عن الموجات الحاملة فى الأجهزة القديمة على مرحلة واحدة . وقد أطلق على مثل هذه الأجهزة اسم « المستقبل المباشر » و « أجهزة الاستقبال ذات الدائرة الوحيدة » .

أما أجهزة الاستقبال الحديثة فتتم فيها عملية التحويل (الفصل) على مرحلتين . وتسمى « أجهزة الاستقبال السوبر هترودين » . وفيما يلى شرح موجز لخصائص كل نوع منهما .

أولا : أجهزة الاستقبال المباشر ذات الدائرة الوحيدة :

يبين شكل (٢٤٥) فكرة تصميم جهاز استقبال مباشر ، وتتميز هذه الأجهزة بأن بها دائرة وحيدة تقوم بعمليتى التقويم والتضخيم معا . ويقوم الصمام الثلاثى الكاشف الموجود فى الدائرة بتوليد تيار نبضى فى دائرة الشبكة ، نتيجة لعملية التقويم التى يقوم بها . وهذا التيار المار فى دائرة الشبكة يتكون عادة من ثلاث مركبات : هى مركبة تيار ذات تردد عال ، ومركبة تيار مستمر ، ومركبة تيار ذات تردد منخفض (تردد مسموع) .



الشكل (٢٤٥) رسم تخطيطى لجهاز استقبال مباشر بدائرة وحيدة يستخدم فيها صمام ثلاثى وآخر خماسى

١ — دائرة التذبذب المكونة من ملف ومكثف متغير **٣ — صمام ثلاثى**

٢ — دائرة التغذية المرتدة (المرتجعة) المكونة من ملف ومكثف متغير **٤ — محول للإشارات ذات التردد المنخفض**

٥ — صمام خماسى

وتمر مركبة التيار ذات التردد العالى خلال المكثف المتصل بدائرة الشبكة فى الصمام الثلاثى ، بينما تمر المركبتان الأخيرتان فى المقاومة الموجودة فى دائرة الشبكة . وعلى ذلك ينشأ خلال مقاومة الشبكة جهد متغير حسب ارتفاع وانخفاض التيار ذى التردد السمعى المار فيها . ويؤثر هذا الجهد المتغير على التيار المار فى دائرة الأنود ، ويتغير بالتالى تبعا لتغيره ، وتحدث به نبضات أو موجات سمعية التردد مضخمة،ومماثلة للموجات الصوتية الأصلية . وتتم عملية التكبير فى الصمام الثلاثى كالآتى :

يمر التيار ذو التردد السمعى فى مقاومة الشبكة فيظهر مضخما فى دائرة الأنود . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن مركبات التيار ذات التردد العالى المار فى المكثف الموجود فى دائرة شبكة الصمام الثلاثى ، يتم تكبيرها هى الأخرى فى دائرة الأنود ، وعلى ذلك فإن التيار الأنودى يحتوى على تيار ذى تردد عال بالإضافة إلى التيار ذى التردد السمعى . ويفيد التيار ذو التردد التالى بعد تكبيره فى زيادة حساسية جهاز الاستقبال، كما يفيد أيضا فى عملية الانتقاء لمروره عن طريق دوائر التغذية المرتدة كما هو مبين بالشكل .

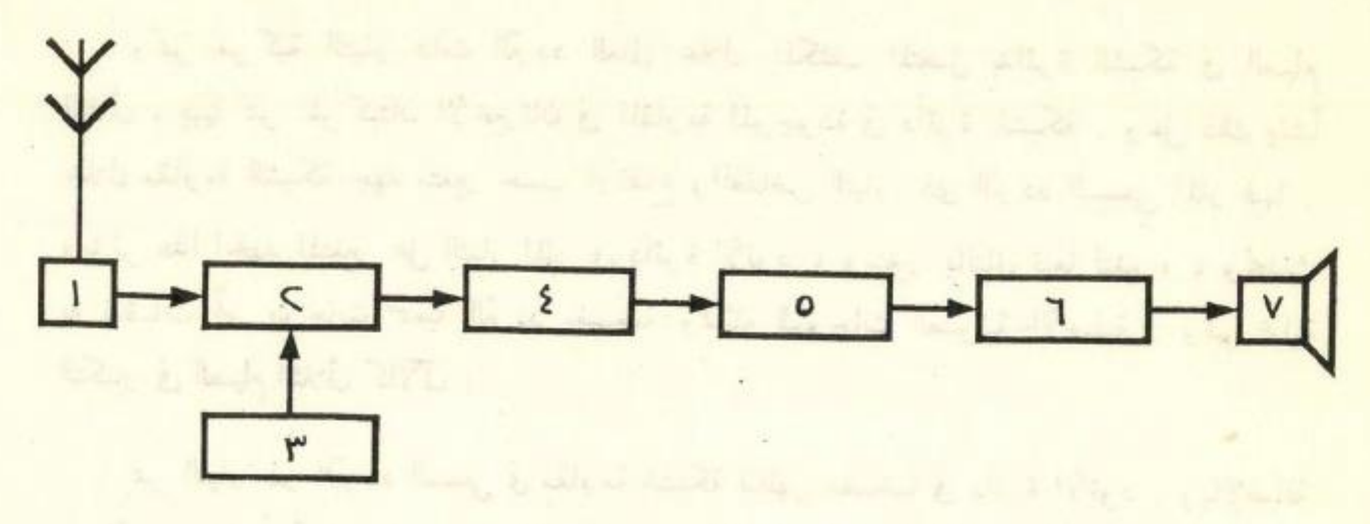
وتبدأ عملية الاستقبال فى هذه الأجهزة باصطدام الاهتزازات العالية التردد التى يلتقطها الهوائى. ثم يسلط الجهد الناتج على دائرة المدخل المولفة على الإشارة المختارة ذات التردد العالى، حيث يتم تكبيرها فى هذه الدائرة بواسطة المجال المغنطيسى للملف المولف . وبذلك تخدم دائرة المدخل المولفة فى عملية الاختيار الابتدائى،وفصل إشارة المحطة المطلوبة عن المحطات الأخرى ، بالإضافة إلى عملية التكبير الأولية.وفى بعض ظروف معينة يصبح المكثف المتغير لدائرة التغذية والملف المولف فى حالة من الإثارة الذاتية بحيث يعمل جهاز الاستقبال كما لو كان جهاز إرسال .

ثانيا : أجهزة الاستقبال السوبرهترودين (الفعل المتغاير) :

ينبنى عمل جميع أجهزة الاستقبال الحديثة على فكرة السوبر هترودين التى تتلخص فى أن هذه الأجهزة تحول الإشارات العالية التردد المستقبلة إلى إشارات ذات تردد بينى ثابت (أى تحولها إلى إشارات لها تردد يقع بين تردد الموجات الحاملة وتردد الموجات المسموعة) . مع ملاحظة أن التردد البينى يعتبر تردداً عاليا بالرغم من أن تردده أقل من تردد الموجة الحاملة .

ويبين شكل (٢٤٦) رسما تخطيطيا يوضح مراحل عمل جهاز استقبال سوبر هترودين .

ومن مميزات هذه الأجهزة استخدام عدد كبير من مراحل التكبير والدوائر المولفة مما يزيد من حساسية الجهاز ودقة الاختيار والثبات ، وهى فى ذلك تفوق أجهزة الاستقبال المباشر .



الشكل (٢٤٦) رسم تخطيطى لجهاز استقبال سوبر هترودين

١ – دائرة الرنين
٢ – دائرة الخلط
٣ – مذبذب
٤ – مرحلة التذبذب البينى
٥ – مرحلة فصل الموجات السمعية عن الموجات الحاملة
٦ – مضخم الإشارات المسموعة .
٧ – مكبر الصوت

وبالرجوع إلى الشكل (٢٤٦) نجد أنه فى المرحلة الأولى تسلط الجهود العالية التردد التى يلتقطها الهوائى على دائرة المدخل المتذبذبة، حيث يتم اختيار الموجة المطلوبة . وفى المرحلة الثانية تخلط الإشارة الداخلة العالية التردد مع الإشارة المتولدة بواسطة جهاز الاستقبال السوبر هترودين ذات التردد العالى، والتى أمكن إنتاجها فى المرحلة الثالثة . وبعد تركيب الإشارتين معا فى المرحلة الثانية (مرحلة الخلط) تمر الإشارتان المركبتان إلى المرحلة التالية رقم (٤) التى تسمى مرحلة التردد المتوسط والتى فيها يغير تردد الموجات الحاملة التى لم تفصل بعد إلى موجة بتردد قيمته ٤٦٨ كيلو سيكل فى الثانية . ثم يسمح للإشارة التى تحمل هذا التردد البينى بعد تكبيرها بالمرور إلى المرحلة (٥) لتحويلها إلى إشارة ذات تردد مسموع ، وهذه المرحلة تسمى مرحلة الكشف أو الفصل . ويستخدم فى هذه المرحلة عدد من المرشحات يسمح بمرور موجات ذات نطاق معين من التردد فقط، وبعد ذلك تكبر الإشارة ذات التردد السمعى مرة أو مرتين فى المرحلة (٦) . ويستخدم لذلك مضخات للإشارات ذات التردد المنخفض ، ومنها إلى المرحلة (٧) أو إلى مكبر الصوت .

وللمرشحات المستخدمة فى هذا المجـال أهمية خاصة . وتتكون عادة من دائرتى تذبذب مولفتين معا بطريقة معينة ، بحيث تسمح فقط بمرور موجات ذات نطاق معين من الذبذبات . وتعتبر قيمة التردد البينى المتوسطة ، ٤٦٨ كيلوسيكل، من أهم العوامل التى تساعد على استخدام مثل هذه المرشحات بكفاءة ، والتى تسمح بمرور الموجات ذات النطاق المعين من التردد ، وتمنع

ماعداها من الإشارات ذات الترددات المختلفة . ويؤدى هذا بالتالى إلى زيادة الحساسية والثبات لهذه الأجهزة .

(٣٠) أجهزة الاستقبال التليفزيونى :

سبق أن أوضحنا أن أجهزة الإرسال التليفزيونى تتكون من جهازى إرسال لهما مصدر مشترك للطاقة وهوائى مشترك . ويستخدم أحد الجهازين فى إرسال الموجات المرئية بعد إدماجها فى موجات حاملة ذات تردد عال جدا . بينما يستخدم الجهاز الآخر فى إرسال الموجات الصوتية المسموعة بعد إدماجها فى موجات حاملة ذات تردد عال أيضا .

ويبين شكل (٢٤٧) أساس تصميم جهاز استقبال تليفزيونى . ومن الرسم يتضح أن أجهزة الاستقبال التليفزيونى تتكون أيضا من جهازى استقبال ، لهما هوائى مشترك ومضخم أولى مشترك . وتمر الموجات الحاملة للصوت والضوء ، بعد اصطدامها بالهوائى المشترك فى جهاز الاستقبال ، إلى ملفات الهوائى ، ومنها إلى دوائر الاختيار ، حيث يتم اختيار الموجات المطلوب تضخيمها .

ثم تفصل الموجات الحاملة للإشارات الصوتية عن الموجات الحاملة للإشارات الضوئية ، وتدخل الموجات الصوتية على جهاز استقبال صوتى ، بينما تدخل الموجات الضوئية على جهاز استقبال ضوئى .

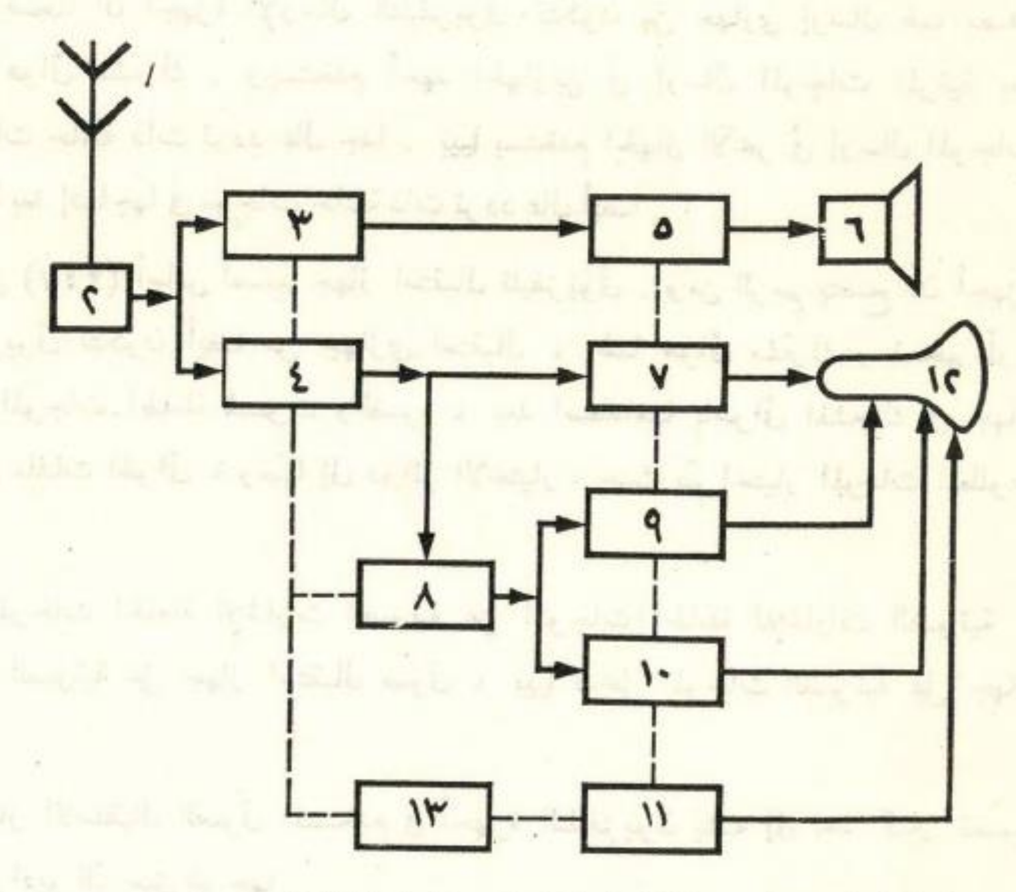
وتصميم جهاز الاستقبال الصوتى المستخدم فى أجهزة التليفزيون يشبه إلى حد كبير تصميم أجهزة استقبال الراديو التى سبق شرحها .

أما تصميم أجهزة الاستقبال الضوئى فهى لا تختلف عن أجهزة الإرسال التليفزيونى .

ونضيف هنا أنه توجد كذلك بأجهزة الاستقبال التليفزيونى ملفات جارفة،أو ملفات كاسحة تغذى بجهد متردد له شكل أسنان المنشار . ويسلط هذا الجهد (كما سبق شرحه) على الملفات الجارفة الرأسية التى تسبب انحراف الشعاع الإلكترونى الكاسح من اليسار إلى اليمين مثلا . وعند وصول الشعاع إلى نهاية الصف ينخفض الجهد المسلط على الملفات الجارفة الرأسية ، ويسلط على الملفات الجارفة الأفقية جهد يؤدى إلى سقوط الشعاع إلى الصف التالى،ثم يعود سريعا إلى الجانب الأيسر . وفى هذه اللحظة يسلط الجهد على الملفات الجارفة الرأسية مرة ثانية ، حتى يقوم الشعاع بمسح (إنارة) الخط الأفقى التالى من اليسار إلى اليمين نقطة وراء نقطة، وهكذا ، وبنفس الترتيب ، وبنفس شدة التيار الموجود فى كل نقطة من نقط شاشة جهاز الإرسال .

وتقوم دوائر ضبط التوقيت (الدوائر النابضة) – التى سبق شرحها – بعملية التزامن المطلوب بين الشعاع الإلكترونى فى جهاز الإرسال والشعاع الموجود فى جهاز الاستقبال ، وبذلك نحصل على صورة متماثلة مع الصورة المرسلة . ويبين شكل (٣٤٨) جهدا مترددا له

شكل أسنان المنشار . وللحصول على صورة متحركة كاملة فى التليفزيون ، (كما يحدث فى الفيلم السينمائى) فإنه يجب عرض أكثر من ١٦ صورة فى الثانية على العين البشرية . ويعرض جهاز التليفزيون ٢٥ صورة فى لثانية .



الشكل (٢٤٧) رسم تخطيطى لمراحل جهاز استقبال تليفزيونى :

١ – هوائى جهاز الاستقبال

٢ – مضخم الإشارات ذات التردد العالى

٣ – مرحلة فصل الموجات السمعية (الصوت) عن الموجات الحاملة

٤ – مرحلة فصل موجات الإشارات البصرية (الصورة) عن الموجات الحاملة .

٥ – مضخم الإشارات ذات التردد المنخفض .

٦ – مكبر الصوت .

٧ – مضخم نبضات التزامن .

٨ – مضخم عملية التزامن

٩ – مولد جهد الملفات الحارفة الأفقية لتوجيه الشعاع رأسيا .

١٠ – مولد جهد الملفات الحارفة الرأسية لتوجيه الشعاع أفقيا

١١ – مولد الذبذبة العالية .

١٢ – صمام الصورة

١٣ – مصدر الطاقة الكهربائية

الشكل (٢٤٨) نموذج لجهد له شكل أسنان المنشار يستخدم فى توجيه الشعاع الإلكترونى
١ – الاتجاه الأمامى للشعاع .
٢ – الاتجاه الخلفى للشعاع (الذى يؤدى إلى سقوطه)

وحيث أنه يوجد بالتليفزيون ٦٢٥ خطاً مسطحاً أفقى للصورة الواحدة ، فإن إرسال ٢٥ صورة فى الثانية ؛ يعنى أن الشعاع الإلكترونى يجب أن يمسح ٦٢٥ خطا ، صفا وراء صف فى $\frac{١}{٢٥}$ من الثانية . وللحصول على صورة جيدة ، فإن الشعاع الإلكترونى لايقوم بمسح الخطوط بطريقة متتالية ، أى ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ .. إلخ ، على التوالى ، وإنما يقوم بعملية مسح ، تسمى المسح المتشابك . أى بمسح الخطوط ١ ، ٣ و ٥ ... إلخ ، ثم ٢ ، ٤ ، ٦ إلخ . وبهذه الكيفية يمكن تحاشى الارتعاش الذى يحدث نتيجة للمسح المتوالى .

(٣١) هندسة الرادار :

أساسيات هندسة الرادار :

تعنى كلمة الرادار الكشف وتحديد المواقع ، أو تحديد المدى بواسطة موجات الراديو .

والرادار هو نظام من الأجهزة الإلكترونية الدقيقة . ويتوقف عمله على أن معظم الأجسام تستطيع أن تعكس كمية كافية من طاقة الأمواج اللاسلكية القصيرة التى تصطدم بها . وعلى ذلك تتلخص عمل أجهزة الرادار فى إرسال الموجات اللاسلكية واستقبالها بعد اصطدامها بالأجسام .

ويقوم جهاز الإرسال فى الرادار بإطلاق نبضات من الأمواج اللاسلكية البالغة القصر ، مثل الموجات الديسمترية أو الموجات السنتيمترية . وترسل النبضات على فترات قصيرة جدا وفى تتابع ثابت . وعلى سبيل المثال ، يمكن أن تكون مدة استمرار النبضة مساوية لنصف الفترة التى تفصل بين النبضة والنبضة التالية لها .ويطلق قطار الموجات (سلسلة النبضات) إلى الفضاء فى اتجاهات معينة ، وعندما تقابل هدفا فإنها تنعكس ويلتقطها جهاز الاستقبال . أى أن هوائى جهاز الاستقبال يقوم بالتقاط صدى النبضات المرتدة . ويمكن تحديد بعد الهدف عن جهاز الإرسال بحساب الزمن المنقضى بين إرسال الموجة واستقبالها (بمعلومية سرعة انتقال الأمواج اللاسلكية) .

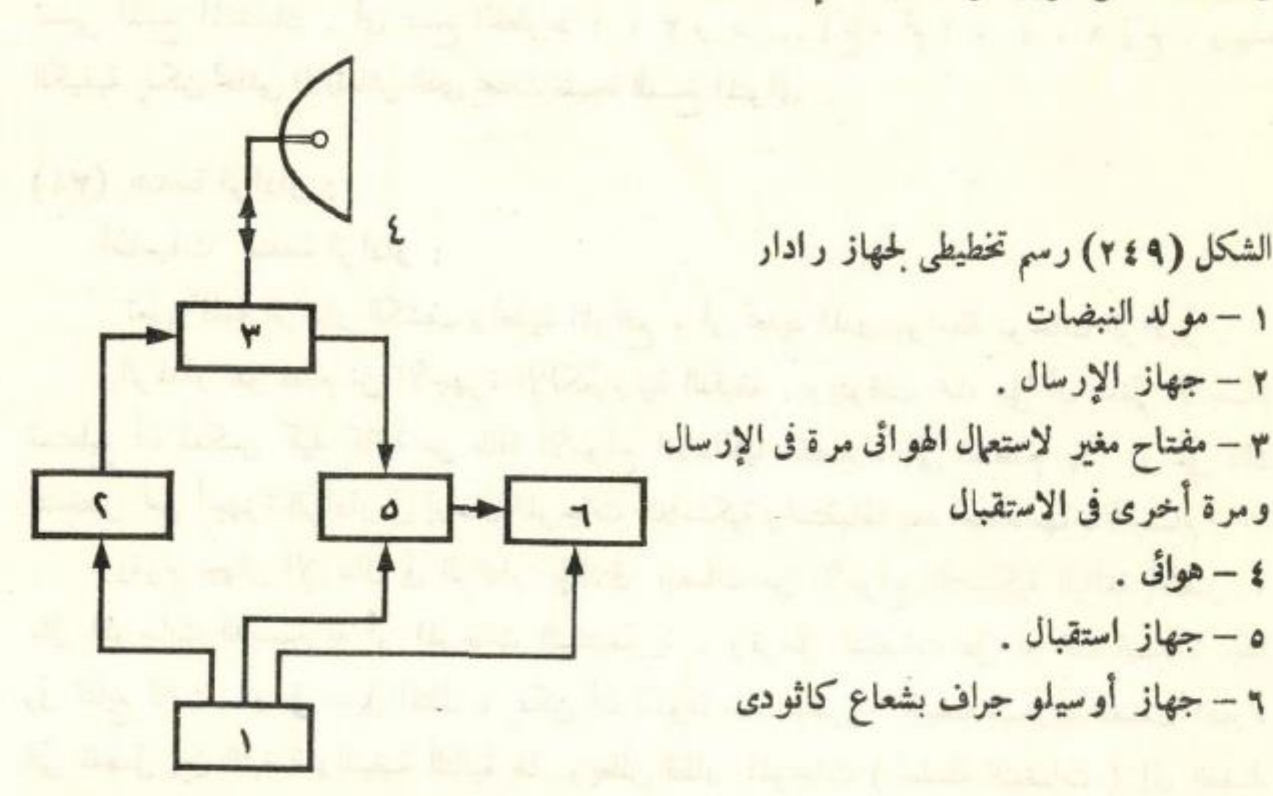
ومن الصعوبات التى صاحبت تصميم الرادار ما يأتى :

(١) إن عودة صدى الموجات المنعكسة يتم فى مدة وجيزة نسبيا ، (حتى ولو كانت المسافة بين الهدف والمرسل بعيدة) . ويتطلب قياس هذه المدة القصيرة استخدام أجهزة إلكترونية خاصة وذات دقة عالية .

(ب) إن الطاقة الناتجة من اصطدام الموجات المرتدة بهوائى أجهزة الاستقبال منخفضة للغاية ، ويتطلب ذلك استخدام أجهزة استقبال بالغة الحساسية : مع استخدام مضخمات ذات كفاءة عالية .

التصميم الأساسى لمعدات الرادار :

يبين شكل (٢٤٩) رسما تخطيطيا لمراحل الإرسال والاستقبال المستخدمة فى معدات الرادار . وأولى هذه المراحل توليد النبضات بواسطة مولد يقوم بإرسالها إلى جهاز الإرسال القوى . وتقوم بلورات بالتحكم فى تردد هذه النبضات وتنظيم فترات استمرارها . وتستخدم هذه البلورات أيضا فى تحديد الأزمنة التى تفصل النبضات عن بعضهما البعض . ويتم إشعاع هذه النبضات فى الفضاء عن طريق هوائى جهاز الإرسال .



الشكل (٢٤٩) رسم تخطيطى لجهاز رادار
١ – مولد النبضات
٢ – جهاز الإرسال .
٣ – مفتاح مغير لاستعمال الهوائى مرة فى الإرسال ومرة أخرى فى الاستقبال
٤ – هوائى .
٥ – جهاز استقبال .
٦ – جهاز أوسيلو جراف بشعاع كاثودى



الشكل (٢٥٠) مبين بعد الهدف باستخدام جهاز أوسيلو جراف
١ – النبضات المرسلة
٢ – صدى النبضة المرسلة (النبضة المرتدة)
٣ – مبين بعد الهدف عن جهاز الإرسال .

وبمجرد انطلاق حزمة النبضات الأولى يجب أن ينقطع الإرسال ، كما يجب أن ينقطع الإتصال بين الهوائى والمرسل طوال الفترة التى تفصل بين النبضات وبعضهاالبعض ، ويبقى المرسل

خاملا حتى يتمكن جهاز الكشف (جهاز الاستقبال) من التقاط الإشارة المرتدة من الهدف . ويجب أن يكون زمن هذه الفترة كافيا ليمكن رؤية صورة الهدف على شاشة صمام الأشعة الكاثودية (الأوسيلو جراف) ، والتقاط صورة فوتوغرافية للهدف إذا لزم الأمر .

ويبين شكل (٢٥٠) صورة النبضات التى استقبلت بواسطة الجهاز بعد رسمها على شاشة الأوسيلوجراف . ويلاحظ هنا أن توجيه هوائى أجهزة الرادار له تأثير هام فى عملية الإرسال والاستقبال . ولهذا السبب تستخدم الهوائيات على شكل قطع ناقص فى معظم الحالات . وبفضل هذا التصميم أصبح لتلك الهوائيات قدرة على التركيز المؤثر للموجات الكهرمغنطيسية القصيرة جدا والتقاطها وإرسالها .

استعمال معدات الرادار :

١ – يستخدم الرادار بجانب الأغراض الحربية فى عدة أغراض مدنية هامة منها مسح الأراضى بواسطة المستقبلات البانورامية .

تعتبر هذه الأجهزة تحسينا للمعدات السابق وصفها . وهذه المعدات تستخدم فى عمليات مسح الأرض ، وتحديد المواقع من الطائرات وخاصة فى حالة تعذر الرؤية . ويمكن لهذه الأجهزة تصوير الأماكن المراد مسحها ، ومشاهدة صورها على شاشة صمام الأشعة الكاثودية (الأوسيلو جراف) ، والتقاط صورة فوتوغرافية لها إذا لزم الأمر .

وتستخدم فى معدات الرادار الحديثة هوائيات ، تدور حول محور رأسى . ودوران هذه الهوائيات يتم فى تزامن مع دوران ملفات توجيه الشعاع الكاثودى الموجود حول عنق شاشة صمامات الصورة . ويمكن مشاهدة تفاصيل الصورة المرتدة على شاشة أجهزة الاستقبال بواسطة صدى نبضات الموجات المرسلة بعد التقاطها ، ولوضوح تفاصيل الصورة يفضل تزويد شاشة أجهزة الاستقبال بمواد فلورسنتية ذات خواص معينة . تتميز بقدرتها على إبقاء الصورة لمدة كافية وبوضوح تام حتى يمكن أخذ صورة لها .

٢ – تنظيم حركة المرور الجوية :

بالإضافة إلى استخدام الرادار فى الدفاع الجوى ، فإن المستقبلات البانورامية تستخدم أيضا فى تنظيم حركة المرور الجوية،حيث يمكن بواسطة هذه المعدات تحديد ارتفاع وبعد الطائرات عن أماكن الهبوط . ويتم هذا التحديد بسرعة وبسهولة متناهيتين . وترسل هذه المعلومات إلى الطيار لمساعدته على الهبوط بسلام . وقد تستخدم هذه المعلومات فى بعض الأحيان لتزود بها الأجهزة المستخدمة فى هبوط الطائرات تلقائيا (الهبوط الأعمى) . وبفضل هذه الأجهزة ، أصبح الهبوط فى الضباب عملية ممكنة وسهلة نسبيا .

٣ – تنظيم حركة الملاحة البحرية :

تحسن نظام الملاحة البحرية إلى درجة كبيرة باستخدام معدات الرادار البانورامية . وأصبح الدخول إلى الموانى أقل خطورة ، وخاصة فى حالة وجود ضباب كثيف أو عند تعذر الرؤية أثناء الليل .

٤ – أبحاث الفضاء :

يستخدم الرادار فى تحديد المسافات بين الأجرام السماوية ، كما يستخدم فى متابعة القذائف الصاروخية والأقمار الصناعية بدقة متناهية ، ويرجع ذلك إلى أن جهاز الرادار يمكنه أن يستقبل صدى النبضات المرسلة بعد اصطدامها بالأهداف البعيدة ، حتى ولو كانت على بعد يزيد على ١٠٠ مليون كيلو متر من مكان جهاز الاستقبال .

الباب الخامس

مصادر تغذية أجهزة الارسال والاستقبال بالتيار المستمر

(٣٢) تصنيف مصادر تغذية أجهزة الإرسال والاستقبال :

تحتاج المضخمات وأجهزة الاستقبال والإرسال والمعدات المستخدمة فى هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية إلى تيار مستمر . وتستخدم لهذا الغرض عدة أنواع من مصادر الطاقة الكهربائية ، التى تمد هذه المعدات بالتيار المستمر المناسب. وقد سبق شرح هذه المصادر ، وأهمها .

(ا) مصادر الطاقة الكهر كيمائية ، مثل الخلايا الابتدائية والثانوية ، التى تقوم عادة بتغذية أجهزة الإرسال والاستقبال الصغيرة الحجم ذات القدرات الضعيفة ، والتى يطلق عليها أحيانا اسم المستقبلات الجيبية أو المستقبلات السهلة الحمل .

(ب) مجموعة المحرك – مولد التى يستخدم فيها عادة محرك ثلاثى الأطوار لإدارة مولد تيار مستمر . وتصمم مثل هذه المجموعات لتغذية معدات هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية الكبيرة الحجم ذات القدرات العالية .

(ج) التيار المستمر الناتج من عمليات التقويم (التوحيد) للتيار المتردد . ويستخدم مثل هذا التيار فى الأجهزة الثابتة والأجهزة المتوسطة الحجم .

(٣٣) المشاكل المتعلقة بالتيار المستمر الناتج من تقويم التيار المتردد :

عند تصميم جهاز من أجهزة الاستقبال أو الإرسال ، يفضل دائما تحديد مصدر التيار المستمر الذى يستخدم فيه ، ويتم ذلك بالإجابة على السؤالين الآتيين :

١ – هل استخدام مصدر الطاقة الكهر كيميائية فى هذا الجهاز اقتصادى أم لا ؟ وللرد على هذا السؤال نقول : إنه من المعروف أن مصادر الطاقة الكهر كيميائية تستخدم بصفة رئيسية فى تغذية الأجهزة الصغيرة الحجم ذات القدرات الضعيفة .

٢ – ما هى مواصفات التيار المستمر الذى يمكن الحصول عليه من مجموعة المحرك – مولد ومن عمليات التقويم ، وذلك إذا قورنت بمواصفات التيار المستمر الذى نحصل عليه من مصادر الطاقة الكهر كيميائية؟ .

من المعروف أيضا أن التيار المستمر الذى نحصل عليه من مجموعة المحرك – مولد ، أو من عملية تقويم التيار المتردد ، عبارة عن تيار نابض متغير الشدة ، به تموجات شديدة . ولذلك لا يصح استخدام هذا التيار المستمر على حالته ،وخاصة فى الأجهزة التى تستدعى ثبوت التيار وخلوه من التموجات ، كأجهزة الراديو والتليفزيون ، أو أى نوع من أنواع الأجهزة التى تستخدم فيها المضخمات . ويرجع ذلك إلى أن هذه التموجات تؤدى إلى وجود تداخل على هيئة أصوات همهمة أو صفير فى سماعات الأذن أو فى المكبر . ويجب ملاحظة أن هذه الأصوات تكبر وتضخم بواسطة الصمامات الإلكترونية أو الترانزستور .

ولذلك تستخدم المرشحات المناسبة التى توصل (على التوالى أو على التوازى) مع المقومات (الموحدات) أو المولدات ، بحيث نحصل على تيار مستمر ناعم أملس خال من النبضات أو التموجات ، أى نحصل على تيار مستمر يشبه إلى حد كبير التيار الناتج من المصادر الكهر كيميائية . وبذلك نمنع الشوشرة أو التداخل الذى يؤدى إلى التأثير على سلامة السمع كلما ازدادت شدة تموجات التيار المستمر .

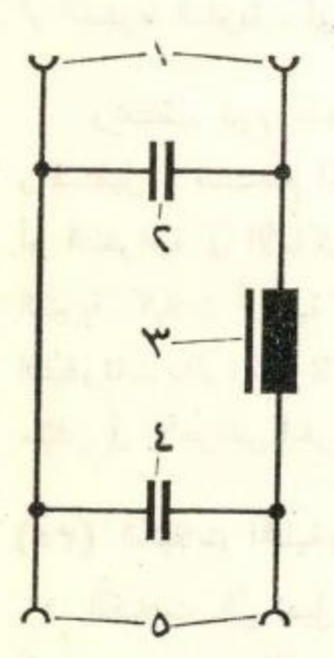
(٣٤) مرشح الموجات :

يوضح شكل (٢٥١) رسما تخطيطيا لدائرة مرشح الموجات المستخدم لتنعيم التيار المستمر النابض حتى يمكن استعماله فى تغذية أجهزة الراديو أو المعدات المستخدمة فى هندسة الإتصالات السلكية واللاسلكية .

وتتكون دائرة المرشح عادة من ملف خانق ومكثف للتنعيم .

ولشرح كيفية عمل المرشح ، فإننا سنأخذ حالة تيار مستمر نابض نصف موجى مطلوب تنعيمه بواسطة المرشح المبين بالشكل (٢٥١). وفيه يشحن المكثف (٢) خلال النصف الأول للموجة وتخزن الشحنة طوال فترة ارتفاع (نمو) جهد المنبع حتى يصل إلى نهايته القصوى . ويجب أن نلاحظ أن عملية شحن المكثف تتم بالتدريج ،نظرا لتزايد المجال الكهربائى المتكون بالمكثف ، مما يؤدى إلى تأخير معدل الزيادة الكبيرة فى ارتفاع الجهد . وعندما يصل جهد المنبع إلى نهايته القصوى ويبدأ فى الانخفاض ، يبدأ المكثف فى تفريغ جزء من طاقته المخزونة . ولا يتم التفريغ بطريقة فجائية نظرا لوجود الملف الخانق فى طريق تيار التفريغ ، حيث أن هذا الملف يتميز بممانعة كبيرة تؤدى إلى تأخير معدل التفريغ ، ويؤدى هذا التأخير إلى تقليل معدل إنخفاض جهد المنبع . وبهذه الطريقة يقل معدل الزيادة والانخفاض فى جهد المنبع . ويتضح من الشكل (٢٥٢) أن الجهد الناتج بعد عملية الترشيح لا تصل قيمته القصوى إلى نفس القيمة القصوى لجهد المنبع النابض ، وإنما يقل عنها ، كما أن أقل قيمة له لا تصل إلى الصفر ، أى تتم عملية تسوية للجهد الناتج من الترشيح ، بحيث لا يرتفع ولا ينخفض بشكل ظاهر . وبذلك نحصل على

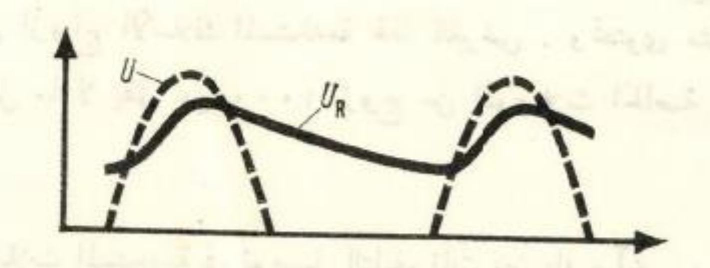
جهد أكثر ثباتا ونعومة من جهد المنبع . غير أنه يعاب على هذا الجهد الناتج من عملية الترشيح، وجود تموجات فى جزئه العلوى لها ترددات عالية . لذلك يستخدم مع دوائر الترشيح ، دوائر أخرى يطلق عليها دوائر التنعيم ، ويمكن بواسطة هذه الدوائر التخلص من التموجات العالية التردد الموجودة فى الجزء العلوى من التيار أو الجهد الناتج من الترشيح . وتتكون دوائر التنعيم من ملف ومكثف لتنعيم (٤) يوضعان ناحية الخرج من دائرة الترشيح. ويوضح الشكل (٢٥١) دائرتى التنعيم والترشيح معا . ويفيد ملف التنعيم فى مقاومة مرور الجزء العلوى من التيار ذى الترددات الكبيرة ، حيث أن ممانعته تزيد بزيادة التردد ، كما أن مكثف التنعيم يؤدى هو الآخر إلى تقليل معدل ارتفاع وانخفاض التموجات،وبذلك نحصل فى النهاية على تيار مستمر خال من التموجات بقدر الإمكان ، ويشبه إلى حد كبير التيار المستمر الذى نحصل عليه من مصادر الطاقة الكهر كيميائية .



الشكل (٢٥١) مرشح الموجة

١ – من المقوم
٢ – مكثف الشحن
٣ – ملف خانق
٤ – مكثف التنعيم
٥ – إلى أجهزة الاستقبال

الشكل (٢٥٢) يبين الخط المتواصل الجهد الناتج بعد الترشيح ، بينما يبين الخط المتقطع الجهد النابض قبل الترشيح



الباب السادس

طرق الاتصال السلكية واللاسلكية

ترسل المعلومات أو الإشارات الكهربائية إما بالطرق السلكية أو الطرق اللا سلكية .

أولا : طرق الاتصال السلكية :

وفيها تنقل المعلومات والإشارات من المرسل إلى المستقبل باستخدام الكبلات الأرضية أو الخطوط العلوية ، أى بواسطة الأسلاك .

ويختلف نوع هذه الأسلاك وتصميمها باختلاف المعلومات المرسلة والمسافة بين المرسل والمستقبل . فتستخدم الخطوط العلوية المركبة على أعمدة فى نقل المعلومات والإشارات التليفونية أو التلغرافية فى الأماكن الخلوية وفى القرى ولوصل البلدان بعضها ببعض . ويحل محل الخطوط العلوية كبلات أرضية فى المدن لسهولة التوصيل وقلة نفقات الإنشاء . وقد تستخدم فى هندسة التليفونات دائرة مكونة من سلك واحد فقط مع استخدام الأرض كسلك رجوع . وهذا الاستخدام منتشر فى الأغراض الحربية .

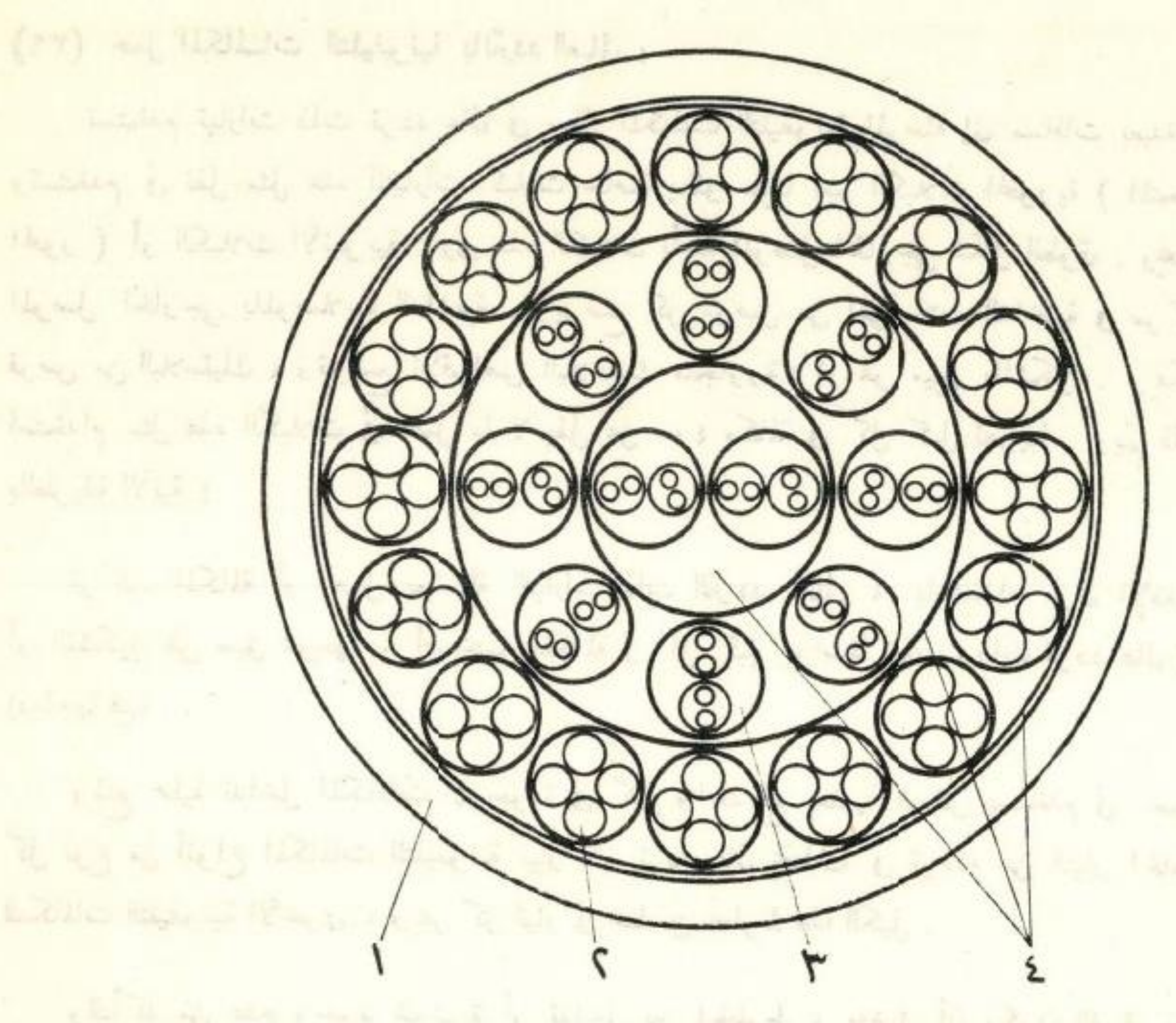
(٣٥) الكبلات المحلية وكبلات الترنك :

الكبلات التى تصل البلدان ببعضها البعض داخل المدن تسمى الكبلات المحلية ، أما تلك المستخدمة لتوصيل المكالمات التليفونية بين المدن أو بين الدول تسمى كابلات الترنك .

ويتميز تصميم التليفونات الأتوماتيكية الحديثة بما يعرف بالتبادل التليفونى ذى الكفاءة العالية . ولهذا السبب تتألف الكبلات الأرضية المستخدمة فى توصيل التليفونات بعضها مع بعض داخل المدن من أعداد كبيرة من ازواج الأسلاك المستخدمة لهذا الغرض . وتحتوى مثل هذه الكبلات ، فى بعض الأحيان . على ما لا يقل عن ١٠٠٠ زوج من الموصلات الخاصة بحوالى ٢٠٠٠ تليفون .

أما كبلات الترنك ، أى الكبلات المستخدمة فى توصيل التليفونات بين بلد وآخر ، فيصل عدد أزواج الأسلاك التى تحتوى عليها إلى ١٧٠ زوج من الموصلات .

ويوضح شكل (٢٥٣) قطاعا فى أحد كبلات الترنك .



الشكل (٢٥٣) قطاع لكبل محورى للترنك

١ – غلاف من الرصاص

٢ – كبل رباعى (به أربعة موصلات)

٣ – كبل توأم رباعى

٤ – ورق عازل

ولزيادة كفاءة التوصيل التليفونى ، تثنى أسلاك التوصيل المستخدمة فى التليفونات بطريقة معينة . ويؤثر طول الكبلات ، وطريقة ثنى الأسلاك ، فى كفاءة المحادثات التليفونية ، وذلك نتيجة لتأثيرها على سعة المكثفات وعلى قيمة الممانعات المستخدمة فى الدوائر التليفونية . ولزيادة كفاءة الاتصال التليفونى تستخدم بعض الملفات التى توضع على مسافات معينة من الأسلاك التليفونية (كل ٢ كيلو متر تقريبا) ، بهدف زيادة قيمة الحث لخط التليفونى . كما يفضل تركيب مضخمات من الصمامات الإلكترونية أو الترانزستور على مسافات تتراوح بين ٧٥ ، ١٠٠ متر (تبعا لطراز الكبل المستخدم) إذا زاد طول الكبل على حد معين .

(٣٦) حمل المكالمات التليفونية بالتردد العالى :

تستخدم تيارات ذات تردد عال فى حمل المكالمات التليفونية المرسلة إلى مسافات بعيدة . وتستخدم فى نقل مثل هذه التيارات كبلات خاصة يطلق عليها اسم الكبلات المحورية (المتحدة المحور) أو الكبلات الأنبوبية . وفى هذه الكبلات يأخذ الموصل الخارجى شكل الطوق . ويحيط الموصل الخارجى بالموصلات الداخلية . ويوضع كل موصل من الموصلات الداخلية فى مركز قرص من البلاستيك ، وتوضع الأقراص البلاستيك متجاورة، كما هو مبين بالشكل . ويمكن استخدام مثل هذه الكبلات فى حمل ما لا يقل عن ٤٠٠ مكالمة فى كل كبل تقريبا . ويتم ذلك بالطريقة الآتية :

تركب المكالمة أو تحمل بواسطة التيارات ذات التردد العالى ، باستخدام طرق الإدماج أو التشكيل التى سبق شرحها ، أى تحمل المكالمة فى كل كبل بواسطة تيارات ذات تردد عال يتم إدماجها فيها .

ولمنع عملية تداخل المكالمات الموجودة فى كبل واحد مع بعضها البعض يستخدم فى حمل كل نوع من أنواع المكالمات التليفونية تيار ذو تردد عال يختلف فى تردده عن التيار الحامل للمكالمات التليفونية الأخرى ، ويمر كل تيار فى خط من خطوط هذا الكبل .

وللتأكد من عدم وجود شوشرة أو تداخل بين الخطوط ، يفضل أن يكون الفرق بين تردد التيارات المختلفة الحاملة للمكالمات التليفونية ٤ كيلو سيكل فى الثانية على الأقل . فإذا كان تردد التيار الحامل لإحدى المكالمات ١٠ كيلو سيكل مثلا ، فإن تردد التيار الحامل للمكالمة الثانية يكون ١٤ كيلو سيكل ، وهكذا . وبهذه الكيفية يمكن استخدام الكبل المحورى لحمل أكثر من ٤٠٠٠ مكالمة مركبة على بعضها البعض .

وفى نهاية الكبل المحورى ، يفصل التيار ذو التردد المسموع عن التيار ذى التردد العالى . وترسل المكالمة بعد ذلك خلال الكبلات المحلية إلى أجهزة التليفون .

ثانيا : طرق الاتصال اللاسلكية :

وفيها تنقل المعلومات والإشارات من المرسل إلى المستقبل عبر الفضاء باستخدام الموجات الكهرمغنطيسية . وقد سبق أن بينا خواص الموجات الكهرمغنطيسية ذات التردد العالى المستخدمة فى حمل التيارات ذات التردد المسموع ، حتى يمكن إرسالها خلال الفضاء . كما بينا العلاقة بين التردد وطول الموجة فى هذه الموجات اللاسلكية عند الكلام عن مدى الإرسال اللاسلكى . ولمعرفة كيفية انتشار الموجات الكهرمغنطيسية فى الجو يجب أن نتفهم طبيعة الغلاف الجوى .

(٣٧) الغلاف الجــوى :

يتكون الغلاف الجوى من النيتروجين والأكسيجين والهيدروجين وبعض الغازات الأخرى . وتبلغ كثافة الهواء أقصاها على سطح الأرض ، حيث يقوم الهواء بدور العازل .

والغلاف الأرضى هو الطبقة السفلى من الغلاف الجوى ، ويمتد إلى ارتفاع يتراوح بين ١٠ ، ١٤ كيلو متر . أما فى الطبقات العليا فيبدأ الهواء فى التحلل والتأين . وهذه الطبقات العليا غير متجانسة . ويختلف سمك ودرجة توصيل طبقات الغلاف الجوى (الغلاف الأيونى) باختلاف ارتفاعها عن سطح الأرض ، كما تختلف أيضا من وقت لآخر أثناء النهار ،وأثناء الليل، وعلى مدار السنة .

وتتحكم خصائص الغلاف الجوى ، والعواصف ، وغيرها ، فى انتشار موجات الراديو .

(٣٨) الموجات السماوية والموجات الأرضية :

سبق أن بينا أن الموجات الكهرمغنطيسية ذات الموجة الطويلة جداً (بتردد منخفض جداً) والموجات الطويلة (بتردد منخفض) تنتشر موازية لسطح الأرض، ويطلق عليهاإسم الموجات الأرضية. أما الموجات القصيرة والموجات القصيرة جداً فتنتشر بزاوية على سطح الأرض ويطلق عليها اسم الموجات الفضائية (الموجات السماوية) . أما الموجات المتوسطة فتنتشر أثناء النهــار موازية لسطح الأرض ، أى تصبح موجات أرضية ، وتنتشر أثناء الليل بزاوية على سطح الأرض (أى تتحول إلى موجات فضائية) ، انظر الشكل (٢٥٤) .

وبذلك يمكن تقسيم الموجات الكهرمغنطيسية تبعاً لكيفية الإنتشار إلى :

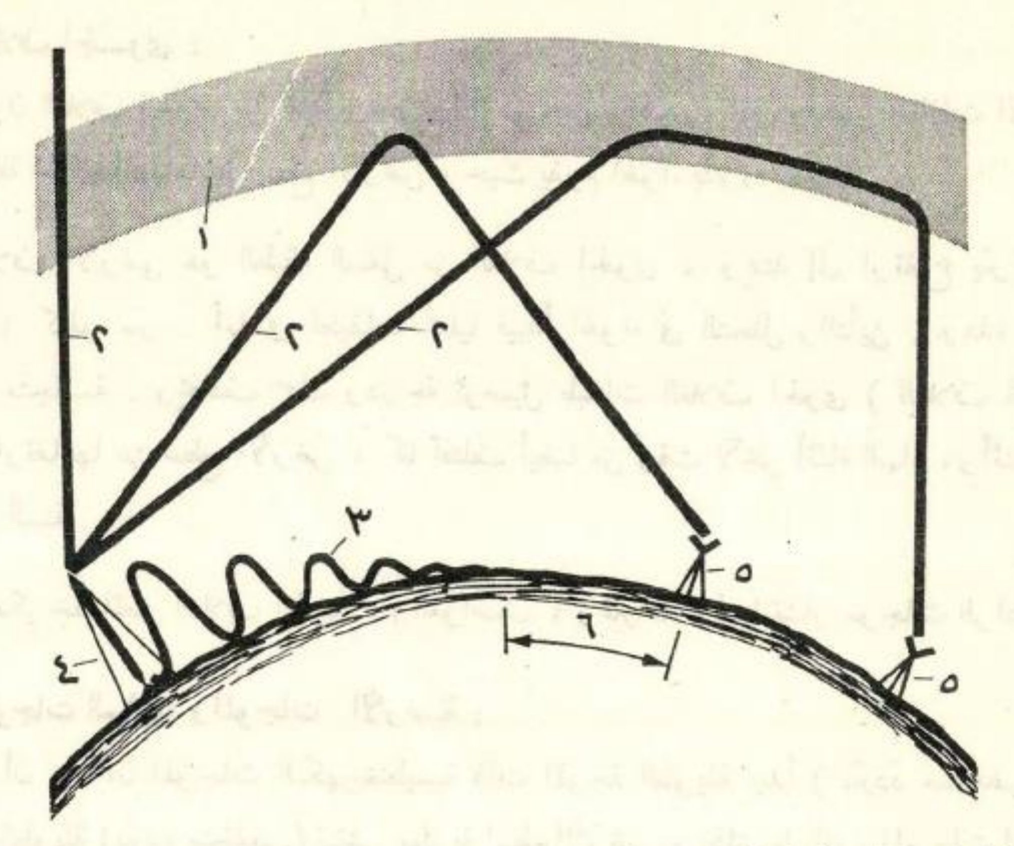
(ا) موجات أرضية :

(ب) موجات فضائية .

(أ) الموجات الأرضية :

وهى الموجات الكهرمغنطيسية التى تنبعث أفقياً وتنتشر موازية لسطح الأرض فى الطبقة السفلى من الغلاف الجوى . ومن أمثلة الموجات التى تسلك فى انتشارها أساساً سلوك الموجات الأرضية الموجات الطويلة جداً ، والموجات الطويلة (٣,كم إلى ٣٠ كم) وبتردد يتراوح بين (١٠ ، ٣٠ كيلو سيكل) ، كما تسلك الموجات المتوسطة (٣٠ متر – ٣٠٠ متر) وبتردد يتراوح بين (٠,٣ إلى ٢ ميجا سيكل) سلوك الموجات الأرضية أثناء النهــار فقط .

وتتميز الموجات الأرضية بأنهــا تنتشر إلى مسافات طويلة جداً إلا أنه يعاب عليهــا أنهــا تفقد طاقتهــا أثناء انتشارها إذا ما اصطدمت بالحواجز أو الموصلات أو المبانى الخرسانية العالية .



الشكل (٢٥٤) سلوك الموجات الكهرمغنطيسية المستخدمة فى الاتصالات اللا سلكية

١ – الغلاف الأيونى	٤ – جهاز الإرسال
٢ – موجة فضائية (سماوية)	٥ – جهاز الاستقبال
٣ – موجة أرضية	٦ – منطقة الصمت .

لذلك تعتبر الموجات الطويلة أكثر الموجات ثباتاً واستقراراً إذا ما انتشرت فوق المحيطات أو الأماكن الخلوية دون أن يعترضها أى عائق ، حيث أن اصطدام هذه الموجات بالأسطح المعدنية والمبانى الخرسانية والحديدية يؤدى إلى تولد تيارات دوامية فيها . وهذه التيارات الدوامية تؤدى بالتالى إلى فقد جزء كبير من طاقة هذه الموجات .

(ب) الموجات الفضائية

وهى الموجات الكهرمغنطيسية التى تشع بزاوية على سطح الأرض . وقد سبق أن بينا أن طبقات الغلاف الجوى (الغلاف الأيونى) الموجودة على ارتفاع يتراوح بين ١٠٠ ، ٥٠٠ كيلومتر هى طبقات متأينة (متحللة) تحيط بالكرة الأرضية ويطلق عليها اسم طبقات « هيفى سيد – كنيللى » . ويمكن للموجات الفضائية اختراق هذا الغلاف بدرجات تختلف باختلاف ترددها ، ثم تنعكس وتعود ثانية إلى الأرض .

ومن أمثلة الموجات التى تسلك فى إنتشارها أساساً سلوك الموجات الفضائية الموجات الديسمترية ، والموجات القصيرة جداً ، والموجات القصيرة (٣٠ سم إلى ٣٠ متر) بتردد يتراوح بين ٣ ميجاسيكل ، ٣٠٠٠ ميجاسيكل . أما الموجات المتوسطة (٣٠ متر – ٣٠٠ متر) وبتردد يتراوح بين ٠,٣ إلى ٣ ميجا سيكل ، فتسلك سلوك الموجات الفضائية أثناء الليل فقط .

ومن الممكن تحديد سلوك الموجات الكهرمغنطيسية المختلفة عند انتشارها تبعاً لترددها كالآتى :

الموجات الديسمترية (٢٠ سم فأقل) بتردد يتراوح بين ٣٠٠ ، و٣٠٠٠ ميجاسيكل .

تتميز الموجات الديسمترية بأنها تنفذ خلال طبقات الغلاف الأيونى ولا تنعكس بل تذهب إلى الكواكب . ولذلك نستخدم الموجات التى يتراوح ترددها بين ٢٠ ، ٢٠,٠٠٠ ميجاسيكل فى أبحاث الفضاء ولا تصلح للإرسال الأرضى .

الموجات القصيرة جدا والموجات القصيرة (٣٠ سم إلى ٣٠ متر) بتردد يتراوح بين ٣ ميجاسيكل ، ٣٠٠٠ ميجاسيكل :

تسلك هذه الموجات فى انتشارها أساساً سلوك الموجات الفضائية (السماوية) حيث تخترق طبقات الغلاف بدرجات تختلف باختلاف ترددها ، ثم تنعكس ثانية إلى الأرض بحيث يمكن التقاطها عند مناطق معينة من محطة الإرسال .

ونضيف هنا أن لهذه الموجات القصيرة موجات تسلك سلوك الموجات الأرضية ، غير أنها لا تفيد فى الإرسال إلا لمسافة قريبة جداً من محطة الإرسال لأنها تمتص بسهولة فى الغلاف الأرضى .

ومن هذه الحقيقة السابقة أمكن تفسير وجود المنطقة المسماة « منطقة الصمت » ، وهى المنطقة الواقعة بين نهاية المدى الذى تنتشر فيه الموجات الأرضية لأية موجة (طويلة أو متوسطة أو قصيرة) ، وبين بداية المدى الذى تبدأ عنده الموجات الفضائية لنفس الموجة فى الانتشار بعد انعكاسها من طبقات الجو العليا .

وهذا يوضح ظاهرة إمكان جهاز استقبال من التقاط محطة إرسال وهو على بعد ٥٠٠ كيلومتر منها ، بينما لا يقدر نفس الجهاز على ألتقاط نفس المحطة وهو على بعد ٢٠٠ كيلومتر منها .

الموجات المتوسطة (٣٠ متر – ٣٠٠ متر) وبتردد يتراوح بين ٠,٣ ، ٣ ميجاسيكل)

تعتبر الموجات المتوسطة أكثر الموجات استخداماً فى الإذاعة . وتتميز بأنها تسلك سلوك الموجات الأرضية نهاراً ، بينما تسلك سلوك الموجات الفضائية (السماوية) ليلا . ولا يتأثر

انتشارها عملياً بمختلف تغيرات الغلاف الأيونى . ولهذه الموجات أيضاً منطقة صمت، ولكنها أقل من منطقة الصمت الموجودة فى الموجات القصيرة . وقد يحدث بعض الخفوت لهذه الموجات أثناء الليل نتيجة لتداخل الموجات الفضائية مع الموجات الأرضية .

الموجات الطويلة (٣,كم إلى ٣٠ كم) وبتردد يتراوح بين ١٠ ، ٣٠ كيلوسيكل :

تسلك هذه الموجات فى انتشارها أساساً سلوك الموجات الأرضية حيث أن موجاتها الفضائية (السماوية) تمتص بسهولة فى الغلاف الجوى . و لاتوجد لهذه الموجات منطقة صمت طويلة . وتصلح هذه الموجات فى الإرسال فوق البحار والأماكن المكشوفة .

ويمكن القول فى النهاية أنه عند اختيار طول الموجة الكهرمغنطيسية (تردد الموجة) المناسبة لإرسال أى نوع من المعلومات يجب مراعاة الآتى :

١ – نوع المعلومات المرسلة .

٢ – وقت إرسالها (أثناء النهار أو أثناء الليل أو أى وقت فى مدار السنة) .

٣ – طول المسافة بين جهازى الارسال والاستقبال .

٤ – طبيعة الأرض أو الفضاء الذى تمر به هذه الموجات .

* * *

transmission	نقـل	variable	متغير
transmitter	مرسل	vector	متجه
tubular	أنبوبي	via	عن طريق
tuning oscillation circuit	دائرة مولفة التذبذبات	visible signal	إشارة مرئية
turns	لفـــات	voltage drop	هبوط الفلطية
two-phase	ثنائي الطور	wave	موجـه
type	طـراز	wave filter	مرشح موجه
		windings	لفيفات
vacuum	فراغ	wireless	لاسلكي

repulsion motor محرك تنافرى
residual magnetism مغنطيسية متبقية
resistance مقاومـة
resistor مقـاوم
saturation تشبع
sawtooth سن المنشار
scale تدريج
scanning مسح
schematic representation تمثيل تخطيطى
screen grid شبكة حجب
screening حجب
secondary current
تيار ثانوى (تيار الملف الثانوى)
sector قـطاع
selection اختيـار
selector switch مفتاح إنتقاء كهربائى
self-induction حث ذاتى
selectivity انتقائية
semi-conductor شبه موصل
sensitive حساس
series motor محرك بلف على التوالى
shaft عمود إدارة
short circuit دائرة نصر
short wave موجة قصيرة
signal إشـارة
single phase أحادى الطور
sinusoidal جيبى
socket outlet مقبس

space waves
موجات فضائية (موجات سماوية)
specimen عينـة
speed of rotation سرعة الدوران
stability اتزان – استقرار
star connection توصيلة النجمة
stationary ثابت
stator عضو ساكن
strip خوصـة
structure تركيب
superheterodyne reception
استقبال سوبرهترودين
switch gear مفاتيح التشغيل
synchronization تزامـن
system نظام

telegraph modulated waves
موجات مشكلة تلغرافياً
temporal مؤقت
three-phase ثلاثى الأطوار
thermal حرارى
thermoplastics لدائن حرارية
thermosetting plastics
لدائن مصلدة حرارياً
transducer
محول طاقة (محول معلومات إلى إشارات كهربائية)
transfering نقـل
transformer محول
transient عابر (انتقالى)

English	Arabic
magnetism	مغنطيسية
magnetization	مغنطة – تمغنط
magnitude	مقـدار
mega - cycle	ميجاسيكل
mesh circuit	دائرة مقفلة
molecule	جزئ
modulation	تشكيل (تضمين)
negative charge	شحنة سالبة
network	شبكة
neutral point	نقطة تعادل
non-conductor	غير موصل
ohmic resistance	مقاومة أومية
oscillator	مذبذب
paramagnetic	بارامغنطيسى
peak value	قيمة الذروة
period	دورة
periodicity	دوريـة
permanent	دائم
permeability	نفاذية
phenomena	ظاهرة
physician	فيزيق
plastics	لدائن
polarity	قطبية
polarisation	استقطاب
pole	قطب
pole changer	مغير القطب
portable	نقالى
potential difference	فرق الجهد
potentiometer	بوتنشيومتر (مقاومة قياس فرق الجهد)
power factor	عامل القدرة
power meter	عداد القدرة
power station	محطة توليد القدرة
precision	دقـة
primary circuit	دائرة ابتدائية
propagation	امتداد – انتشار – انتقال
quotient	خارج قسمة
radar	رادار
radial	نصف قطرى
radio - receiver	جهاز استقبال راديو
range	مـدى
rate	معدل
rated voltage	جهد مقنن
reactance	مفاعلة
reactive	غير فعال
rectifier	مقـوم
reed	ريشـة
regulating switch	مفتاح منظم كهربائى
relative permeability	نفاذية نسبية
relay	متابع – مرحل
remanence	استبقائية
rheostat	ريوستات (مقاومة متغيرة)
rotating machine	مكنة دوارة
rotor	عضو دوار

generator مولد
geometric هندسى
glow lamp مصباح متوهج
graduation تدريج
ground waves موجات أرضية

harmonic oscillations تذبذبات توافقية
headphone سماعة رأس
helical spring زنبرك لولبى
H.F. reciever مستقبل تردد عالى
H.F. transmitter مرسل تردد عالى
high frequency تردد عالى
homogeneous متجانس
hysteresis loop
منحنى أنشوطى للمغنطيسية المتبقية

impregnated مشرب بالزيت
impulse نبضة
incandescent مصباح متوهج
indicating instrument جهاز مبين
induced current تيار منتج بالحث
inductance محاثة
inductive حثى
inductor محث
influence تأثير
in - parallel على التوازى
input دخل
in series على التوالى
installations تركيبات

instantaneous لحظى
insulation loss فقد العزل
insulating material مادة عازلة
interferance تداخل
interlinking توصيل متبادل
image frequency تردد الصورة
intermediate frequency تردد بينى
interrelation علاقة متبادلة
intensity شدة

key switch مفتاح كهربائى بذراع
knob زر

lag تخلف
lamp holder دواة مصباح
leakage current تيار تسرب
limits of error حدود الخطأ
lightening arrester مانعة صواعق
linear خطى
lines of flux خطوط الفيض
live part جزء مكهرب
local oscillator مذبذب محلى
loop حلقة
loud speaker مكبر الصوت
low voltage جهد منخفض

mains مأخذ رئيسى
magnet مغنطيس
magnetic field strength
شدة المجال المغنطيسى

electrometer
جهاز قياس فرق الجهد الكهربائى
electromotive force قوة دافعة كهربائية
element عنصر
elongation استطالة
emission انبعاث
energy طاقة
equilibrium اتزان
equipment معدات
equivalent مكافئ
expansion تمدد

factor عامل
feed-back تغذية مرتجعة (تغذية مرتدة)
ferromagnetic substance
عنصر عالى الإنفاذية المغنطيسية
fidelity أمانة
field مجال
filament فتيلة التسخين
filter مرشح
finger contact مجس
flux فيض
frequency تردد
frequency modulation تشكيل التردد
function دالة
fundamentals أساسيات

galvanic cell خلية جلفانية
gap ثغرة
generation توليد

distortion تشويه
direct current تيار مستمر
discharge lamp مصباح تفريغ
displacement إزاحة
distribuion station محطة توزيع
division قسم
driving energy طاقة دافعة
duration دوام
dynamic effect تأثير ديناميكى
dynamo دينامو

earthing تأريض
earth leakage تسرب للأرض
eddy currents تيارات دوامية
efficiency كفاءة
electrical circuit دائرة كهربائية
electrical potential جهد كهربائى
electric appliances
مستخدمات كهربائية (أجهزة تعمل بالكهرباء)
electric charge شحنة كهربائية
electric field مجال كهربائى
electricity كهرباء
electric meter عداد كهربائى
electric power قدرة كهربائية
electro-chemical كهركيميائى
electrode إلكترود
electrodynamic
ديناميكى كهربائى (كهرديناى)
electrolytic إلكتروليتى
electromagnet مغنطيس كهربائى

channel قناة
charge شحنة
charging equipment معدات شحن البطاريات
charcoal فحم نباتى
choke coil ملف كابح للتيار
characteristics خصائص مميزة
circuit arrangement ترتيبة دائرة
circuit breaker قاطع دائرة
circuit diagram رسم دائرة
circuit elements عناصر الدائرة
clamp قامطة — ماسك
classification تصنيف
clockwise direction اتجاه عقارب الساعة
closed loop حلقة مغلقة
clutch قابض
coaxial transmission line خط نقل محورى
coefficient معامل
coercive force قوة قهرية
coil ملف
communications اتصالات
commutator مبدل (عضو التوحيد)
condenser مكثف
compound - wound motor محرك بلف مركب
conducting plate لوح موصل
conductivity موصلية
conductor موصل
conduit مجرى

constant ثابت
contactor مفتاح تلامس
continuity استمرارية
control تحكم
converter محول مغير
coresheet رقائق الصلب
cosine جيب تمام الزاوية
counter عداد
coupling sleeve كم قارن
coupling capacitor مكثف ترابط
crystal structure تركيب بلورى
current intensity شدة التيار
cycle دورة

damping تخميد (مضاءلة)
dark radiator مشع مظلم
decay اضمحلال
delta connection توصيلة دلتا
demodulation فك التشكيل
density كثافة
deposited مرسب
detection كشف
deviation انحراف
device نبيطة (وسيلة)
diagramatic تخطيطى
diamagnetic دايامغنطيسى
dielectric وسط عازل
dielectric strength متانة العزل
dim light ضوء خافت
diode صمام ثنائى

المصطلحات الفنية

(انجليزى — عربى)

English	عربي
absolute	مطلق
accumulators	مراكم
air gap	ثغرة هوائية
alkaline	قلوى
alloy	سبيكة
alternating	متردد
ammeter	أميتر (جهاز قياس شدة التيار)
amplifier	مكبر (مضخم)
angular	زاوى
amplitude modulation	التشكيل الكمى (تشكيل الذروة)
antenna	هوائى
anticlockwise	عكس عقارب الساعة
apparent power	قدرة ظاهرة
armature	عضو إنتاج
arrangements	ترتيبات
atom	ذرة
atomic theory	النظرية الذرية
attraction	تجاذب
asynchronous	لا متزامن
audio-frequency	تردد سمعى
automatic regulator	منظم أتومانيكى
auto excitation	إثارة تلقائية
axle	محور

English	عربي
ballast unit	وحدة كبح التيار
band of frequencies	نطاق الترددات
beating	تضارب
battery	بطارية
bell transformer	محول جرس
blade	نصل
block diagram	رسم تخطيطى للمراحل
boundary layer	طبقة الحدود
branch joint	وصلة تفرع
bright radiator	مشع مضئ
brush	فرشاة (فرشة)
bundle	حزمة
bushing	جلبة – وصلة كبل
buzzer	زنان
cable	كبل
cable socket	عروة توصيل الكبل
cable trench	مجرى الكبل
capacitance	مواسعة (سعة)
capacitive reactance	مفاعلة سعوية
capacitor	مكثف كهربائى
casing	غلاف
cell	خلية
ceramic	خزفى



مطابع الأهرام التجارية

سلسلة الأسس التكنولوچية

١ – الكيمياء الصناعية
٢ – أشغال الخشب (النجارة) .
٣ – الالكترونيات
٤ – المخرطة
٥ – الأمان الصناعى
٦ – براد التجميع
٧ – هندسة الموتوسيكلات .
٨ – النظائر فى البحث والصناعة .
٩ – تشكيل المعادن بدون قطع .
١٠ – الأساسيات الكهربائية ج ١
١١ – الأساسيات الكهربائية ج ٢
١٢ – الجداول الفنية (–)
١٣ – الرسم الفنى (–)
١٤ – اللحام بالغاز ج ١ (–)
١٥ – اللحام بالغاز ج ٢ (–)
١٦ – اللحام بالغاز ج ٣ (×)
١٧ – أشغال المعادن (×)
١٨ – هندسة الجرارات (×)
١٩ – التركيبات الكهربائية (×+)
٢٠ – هندسة السيارات (×+)
٢١ – أشغال قطع المعادن (×+)

(–) نفد ويعاد طبعه
(+) طبعة ثانية
(×) تحت الطبع وتصدر تباعا

مطابع الاهرام التجارية